4

Einführung

in die

Augenheilkunde

von

Dr. J. Hirschberg,
a. o. Professor an der Universität zu Berlin.

Erste Hälfte.

Mit 112 Holzschnitten.

Leipzig
Verlag von Georg Thieme.
1892.

Die 2. Hälfte erscheint im Jahre 1893.

EINFÜHRUNG

IN DIE

AUGENHEILKUNDE.

Einführung

in die

Augenheilkunde

von

Dr. J. Hirschberg,
A. o. Professor an der Universität zu Berlin.

Erste Hälfte.

Mit 112 Holzschnitten.

Leipzig
Verlag von Georg Thieme.
1892.

Die 2. Hälfte erscheint im Jahre 1893.

Druck von Fischer & Wittig in Leipzig.

Augenheilkunde ist weder eine Gewebelehre des Auges noch eine mathematische Formelsammlung, noch eine Pilzkunde; sondern die wissenschaftliche Darstellung der Kunst, kranke Augen zu heilen und gesunde so zu erhalten.

Drei Dinge muss derjenige kennen lernen, welcher Augenkrankheiten zu heilen unternimmt: die Augenheilmittel, das Auge, die Augenkrankheiten.

Erster Abschnitt.

Die Augenheilmittel.

Die Augenheilmittel[1]), welche in den meisten der heutigen Lehrbücher etwas stiefmütterlich behandelt werden, stelle ich in den Vordergrund der Betrachtung.

In keinem Theil der Heilkunde steht der Werth geprüfter Heilformeln höher, als in dem unsrigen, der mit einem besonders zarten Organ sich zu beschäftigen hat. Das Heilen beruht auf Erfahrung. Die Heilkunde muss ganz genaue und wirklich erprobte, d. h. brauchbare Regeln überliefern.

Unser Grundsatz ist: Einfache Vorschriften.[2]) Unser Wahlspruch: Mit wenig kommt man aus.

I) Die keimtödtenden[3]) Mittel

nehmen, wegen ihrer Wichtigkeit, heutzutage die erste Stelle ein. Aber die thatsächlich wirksamen Mittel vermögen fast eher die Gewebe des Auges, als die krankmachenden Keime zu tödten.

---

1) Augenheilmittel waren dem Vater der Heilkunde: Weintrinken, oder Bad, oder Bähung, oder Aderlass, oder reinigende Arznei. (Hippocr. Aphor. VI, 31.)

Augenheilmittel sind uns heutzutage: örtlich auf das Auge einwirkende Arzneien, allgemein auf den Körper wirkende; Operationen: richtige Lebensweise.

2) In C. Graefe's Repertor. augenärztlicher Vorschriften, Berlin 1817, einem verdienstvollen Werk, das fast gar keine Nachfolge gefunden, liest man noch Recepte aus — zwanzig Mitteln! Unsere Vorschriften enthalten meistens nur ein einziges wirksames Heilmittel.

3) Antiseptische, von *ἀντί* (wider) und *σῆψις* (Fäulniss). Das Wort ist schlecht, denn *ἀντισήπεσθαι* heisst wieder faulen. (Galen, II, 21). *Ἀσηψία* heisst Freisein von Fäulniss (von *ἀ*-privativum und *σῆψις*). *Ἄσηπτος*, bei Hippocr. — Beseitigung der Fäulniss wird öfters Desinfection genannt.

1) A. Die starke Sublimatlösung (von einem Theil Sublimat[1]) auf tausend Theile Wasser), welche allerdings das erforderliche leistet und durch R. Koch als eines der zuverlässigsten Mittel dieser Art nachgewiesen worden ist, dient uns hauptsächlich als Waschwasser für unsere Hände sowie für unsere Geräthe aus Glas und aus Porzellan.

Auf das Auge kann diese starke Sublimatlösung nicht so einfach angewendet werden, da sie Verätzung der Hornhaut bewirkt.

a) Enucleatio bulbi.

Wohl aber dient sie, nach Entfernung des Augapfels,[a] zur Wundausspülung.[2]) Ferner kann sie bei umschriebener Vereiterung der Hornhaut[b] mittelst eines Pinsels vorsichtig angewendet werden, wenn man eine schwächere Lösung (1:5000) nachspült. Aber weit besser wirkt hier die Glühhitze.[3]) Ihr kann lebendiges nicht widerstehen. Sie ist das kräftigste Mittel gegen fortschreitende Hornhautvereiterung: zahlreiche Augen, welche früher zu Grunde gingen, werden jetzt durch die Glühhitze gerettet. Zur Verwendung kommt die galvanisch glühende Platindrahtschlinge; oder eine kleine, in der Weingeistflamme erhitzte, eiserne Olive; gelegentlich auch ein kleiner Brenner nach Paquelin.

b) Abscessus corneae.

Besser, als von der Hornhaut, wird die starke Sublimatlösung von der Bindehaut der Lider und des Umschlagtheils vertragen. Dass aber die durch den Tripperpilz[c] bedingte, ansteckende Bindehauteiterung[d] mit diesem stärksten der „antiseptischen" Mittel behandelt werden müsse, ist — ein Aberglauben. Die Erfahrung hat gelehrt, dass die lange bekannte, zweiprocentige Höllensteinlösung jene Krankheit weit sicherer heilt, obwohl zufälliger Weise der Höllenstein unter den — zusammenziehenden Mitteln abgehandelt zu werden pflegt.

c) Gonococcus.

d) Blenorrhoea conjunctivae.

Gegen die Körnerkrankheit[e] der Bindehaut ist in unseren Tagen das alte Hippocratische Schleimhaut-Bürsten[f] wieder neu belebt worden: der Wattebausch oder die Bürste, welche zur Verwendung gelangen, werden in starke Sublimatlösung (1:500 bis 1:2000) eingetaucht. Doch möchte ich dies angehenden Aerzten kaum empfehlen; noch weniger die Einspritzung eines Tropfens der Lösung von 1:500 in den Glaskörper, bei Vereiterung desselben.

e) Trachoma.

f) Ophthalmoxysis.

B) Das schwächere Sublimataugenwasser (1:5000), welches die Keime zwar nicht tödtet, aber doch ihre Entwicklung hemmt, gehört zu den wichtigsten und zuverlässigsten Mitteln in der Augenheilkunde.

---

1) $HgCl_2$, Hydrargyrum bichloratum (corrosivum), Quecksilberchlorid. Eine Angerer-Pastille von 1 Gramm Sublimat wird in 1 Liter Wasser aufgelöst.

2) Mittelst einer kleinen Schnabeltasse aus Porzellan, bei geneigtem Kopf, so dass die Flüssigkeit gleich wieder ausfliesst.

3) Ueberhaupt ist Hitze von 100° C. und darüber das wirklich desinficirende Mittel. Leider kann es nicht immer angewendet werden.

Sublimat-Augenwasser wird verordnet: 1) zu sogenannten antiseptischen Umschlägen; 2) zum Auswaschen des Bindehautsacks vor der Star-Operation u. dgl.; 3) zum Abspülen von Operationswunden, das allerdings gerade beim Star-Schnitt meist zu entbehren ist; 4) zum Abspülen der Wunden ernster Augenverletzung, vor dem Verband; 5) zum Befeuchten der Watte für den Augenverband; 6) als Lösungsmittel der Alkaloïd-Salze, [1]) besonders für Augen-Operationen. [2])

1) Hydrargyri bichlorat. 0,02
Aq. dest. (rec. coct.) 100,0
S. Sublimataugenwasser.

1a) Hydrargyri bichlorati 0,01
Aq. dest. 100,0.
S. Zu Umschlägen. [3]) (Mit einiger Vorsicht anzuwenden.)

Die meisten deutschen Fachgenossen verwenden das Sublimat-Augenwasser (1 : 5000), auf Grund der allgemeinen Versuche von R. Koch und der besonderen Erfahrungen von Sattler, [4]) A. Graefe [5]) u. A., denen ich mich auf Grund eigener, zahlreicher Beobachtungen vollkommen anschliesse.

Panas in Paris bevorzugt nach einzelnen Versuchen, die wenig beweisen, das Quecksilberjodid, HgJ_2 (1:20 000). Chibret preist das sogenannte Oxycyanür des Quecksilbers, in der Lösung von 1:1500 zum Augenbad und zur Berieselung der Wunde.

---

1) Cocaïn, Physostigmin, Atropin. Ich verschreibe die Lösung des Sublimats von 1:5000 als Aqua sublimata. — Will man häufiger einträufeln, z. B. Atropin bei Regenbogenhautentzündung; so ist besser eine Sublimatlösung von 1:10 000 zu wählen. — Einträuflung von Sublimatlösung 1:5000 verursacht öfters Brennen, nur selten Reizung, z. B. Hornhautbläschen. (Herpes.)

2) „Wenn ein beherzter Wundarzt bedenklich wurde, falls einem Kinde einige Tropfen von der Lösung an die Lippen kamen," (C. Bl. f. A., 1890, S. 24), so hat er nicht — gerechnet. Der Tropfen enthält etwa 0,00001 Sublimat. Die grösste Einzelgabe ist 0,02; die grösste Tagesgabe 0,1 für den Erwachsenen
0,02 für ein 5j. Kind,
0,01 für ein 1j. Kind.
Die ganze, von uns verschriebene Menge der Lösung (100,0) enthält nur die grösste Tagesgabe für ein Kind!

3) In dieser Anwendungsart ist das Mittel schon fast hundert Jahre alt: a) 0,05:120, zur Befeuchtung der Lider (Richter); b) 0,05:300, zur Einträuflung (Scarpa); c) 0,01 auf Laud. liqu. 2,0 und Aq. Rosar. 30,0. (Aqua ophthalmica Conradi.) Durch den Zusatz pflanzlicher Stoffe wird natürlich die Schärfe der Metallwirkung vermindert.

4) Ophth. Gesellsch. z. Heidelberg 1883, C. Bl. f. A., S. 335.

5) A. f. O. XXX, 4, 211 fgd., 1884.

2) Frisches Chlorwasser[1]) gehört einerseits nach R. Koch zu den kräftigsten Desinfectionsmitteln, da es noch in einer Verdünnung von 1:20000 die Fortpflanzungsfähigkeit von Bakterien in der Nährflüssigkeit verhindert, und wird andrerseits vom Auge gut vertragen.

Die Gerechtigkeit gebietet anzuerkennen, dass die praktische Anwendung um Jahrzehnte der theoretischen Forschung vorauseilte. Denn schon 1864 pries A. v. Graefe[2]) das Chlorwasser als „Desinfectionsmittel“ und benutzte es gegen Wucherungen[3]) der Bindehaut und Geschwüre der Hornhaut. Schmidt-Rimpler hat nachgewiesen, dass es die ansteckenden Eigenschaften des Thränensackeiters vernichtet. Ich selber habe es in Tausenden von Fällen erfolgreich angewendet. Chlorwasser kann unverdünnt auf das Auge geträufelt werden: a) bei Star-Operation und gleichzeitigem Thränensackleiden, b) bei Hornhautgeschwür. Chlorwasser kann verdünnt zu kühlen Umschlägen verwendet werden, bei Bindehautentzündung, besonders bei der bläschenförmigen[a]) und der körnigen;[b]) oder auch zu lauen Umschlägen, an Stelle des üblichen Kamillenaufgusses, bei schmerzhafter Entzündung der Hornhaut.

a) phlyktaenulären.
b) granulären, trachomatösen.

2) Aqu. chlorat.
(s. Chlori solut.) 20,0.
D. v. nigr. S. Zur Einträuflung.

2 a) Aquae chlorat. 200,0.
D. v. nigr. S. Einen Esslöffel voll auf 1 Liter kühlen Wassers, zu Umschlägen: 3 Mal täglich, je eine Viertelstunde lang.[4])

2 b) Aquae chlorat. 200,0.
D. v. nigr. S. Einen Esslöffel voll auf eine grosse Tasse lauen Wassers, zu Umschlägen: 4 Mal täglich, je 10 Minuten lang.

3) Wässrige Carbolsäurelösung[5]) von 5%, die gelöstes Eiweiss zur Gerinnung bringt und alle Eiterkokken rasch abtödtet, verwenden wir zur Füllung der Glaskästen, in denen die auf Glas-

1) Aqua chlorata ist mit Chlorgas gesättigtes Wasser und enthält auf 1000 Theile Flüssigkeit 4 Theile Chlor. — Möglichst frisch zu verschreiben und vor Licht geschützt aufzuheben.

2) A. f. O., X, 2, 191.

3) Phlyktaenen, Follikel, Granulationen.

4) Natürlich ist für jedes der drei Male eine frische Mischung zu bereiten. Zur Mischung diene ein Löffel aus Glas oder Porzellan, oder ein Gläschen mit Maass-Strich.

5) $C_6H_5 \cdot OH$, Phenol.

spindeln gewickelten Seidenfäden zum Nähen[1]) aufbewahrt werden. Wässrige Carbolsäurelösung von $2^1/_2$ bis $3\,^0/_0$[2]), welche nur keimhemmend wirkt, kann bei Augenoperationen[3]) verwendet werden. Die (durch Kochen gereinigten) Instrumente liegen in der mit Carbolwasser gefüllten Glaswanne. Mit den daraus entnommenen feuchten Instrumenten kann man die Pupillenbildung, den Star-Schnitt, die Magnetoperation verrichten: das Auge verträgt diese geringen Mengen der Carbolsäure. Doch pflege ich so nicht zu operiren, ausser an den Lidern oder zur Entfernung des Augapfels u. dgl. Uebrigens bewirkt ein Tropfen des Carbolwassers, welcher auf die Augapfeloberfläche gelangt, starken brennenden Schmerz. Deshalb muss man das zu operirende Auge durch vorhergehende Cocaïneinträuflung unempfindlich machen und das andere vor der Berührung mit der Carbolsäurelösung zu schützen suchen, — falls nicht Betäubung des Kranken vorgezogen wird.

Schwächere Carbolsäurelösungen sind fast unwirksam, ebenso die Lösungen von Salicylsäure ($3\,^0/_0$), Borsäure[4]) ($4\,^0/_0$), benzoësaurem Natron ($5\,^0/_0$). Weit besser ist physiologische Kochsalzlösung ($0{,}6\,^0/_0$), die man durch Kochen oder im Dampf-Ofen zuverlässig gemacht hat.

Die keimfreie Behandlung erfordert Sorgfalt und Stetigkeit. Nichts ist schädlicher als, nach Art der Garköche, stets nach neuen Vorschriften zu haschen. Mit blindem Vertrauen hat man noch vor wenigen Jahren solche Mittel als antiseptisch gepriesen, die der physiologischen Kochsalzlösung — höchstens gleichwertig sind.

4) Auch Jodoform (CHJ_3) tödtet nicht die Keime, ja es ist

---

1) Catgut ist weniger schmiegsam, für die Schieloperation; auch nicht so einfach (durch Kochen) zu reinigen.

2) Das Carbolwasser (Aqua carbolisata) des deutschen Arzneibuches enthält drei Theile Carbolsäure auf 100 Theile Wasser.

3) Die geschlossenen Flaschen mit diesen schwächeren Lösungen (Carbolwasser 3:100, Sublimat-Augenwasser 1:5000) werden bei mir mittelst des heissen, strömenden Dampfes vorbehandelt: dann sind sie sicher keimfrei.

4) Borsäure (H_3BO_3). — Acidi borici 10,0: 1 Messerspitze voll auf eine Tasse Wasser, zu Umschlägen. (Billige Verordnung.) — Vielfach im Gebrauch war die folgende Vorschrift:

R) Acidi borici 3,0
Acidi salicyl. 1,0
Aq. dest. 100,0.
S. Antiseptisches (?) Augenwasser.

nicht immer keimfrei;[1]) allerdings macht es die Eiterbildung unschädlich oder unmerklich; vielleicht dadurch, dass es die Stoffwechselprodukte der Spaltpilze beeinflusst.

Jodoformpulver streute ich nicht, wie manche Fachgenossen thaten, auf die frische Schnittwunde des reinen Stars, sondern höchstens auf die des Schmutz-Stars[2]): doch habe ich es wieder aufgegeben, während Einzelne noch heute davon begeistert sind.

Einen besonderen Jodoformstreuer braucht man nicht für — das Auge, sondern nur einen sterilisirten getrockneten Pinsel. Auch der Hornhautabscess wird, nach dem Ausbrennen, mit Jodoformpulver bestreut. Ferner verunreinigte Wunden, in der Umgebung des Auges, nachdem sie, mit starker Sublimatlösung, kräftig ausgewaschen worden.

Jodoformbäuschchen (unmittelbar vor dem Gebrauch hergestellt, indem man die mittelst heissen, strömenden Dampfes vorgereinigten Florgewebestreifen in Jodoformpulver wälzt,) sind sehr nützlich zum Ausstopfen der entleerten Augenhöhle,[a]) da die Heilung erfolgt, ohne dass man etwas von Eiter merkt; und der Schnittwunden, die man wegen eitriger Knochenhautentzündung in der Umgebung des Augapfels angelegt hat.

a) nach Exenteratio orbitae.

Fast unentbehrlich ist Jodoformsalbe, 1) zum Verband von Lidoperationen, damit die eingepflanzten Lappen (namentlich die stiellosen) nicht an den Verbandstücken kleben bleiben; 2) gegen langwierige Entzündungen der Nasenschleimhaut, a) bei Star-Kranken, um üble Einwirkungen auf die Star-Schnittwunde zu verhüten; b) bei scrofulösen Kindern, um die Wiederkehr des Bläschencatarrhs[b]) abzuschneiden.

b) Keratoconjunctivitis phlyktaenodes.

3) Jodoformii subtiliss. pulveris. 5,0
Ad vitrum. Mit Pinsel.

3a) Jodoformii subt. pulv. 1,0,
Amyli 4,0.

3b) Jodoformii 0,5,
Vaselini opt. 10,0.
S. Verbandsalbe (oder Nasensalbe).

1) Für wichtige Fälle (Star-Operation) liess ich mir 25 Gramm frisch in einen sterilisirten Kolben überdestilliren.

2) D. h. des mit Thränenschlauch-Eiterung verbundenen Stars. Diese Eiterung muss allerdings vor dem Star-Schnitt nach Möglichkeit verringert werden.

3c) Jodoformii fab. tonc. desodor.[1]) 0,5,
Vaselini opt. 10,0.
Mit kleinem Pinsel. Nasensalbe.

5) Von den entbehrlichen Mitteln möchte ich lieber gar nicht reden.

A. Hierher gehört das Pyoktanin.[2]) So nannte J. Stilling[3]) die arsenfreien Anilinfarbstoffe, das blaue Methylviolett und das gelbe Auramin, welche allerdings beim wissenschaftlichen Versuch die Eiterpilze[a]) in ihrer Entwicklung hemmen: aber in der praktischen Anwendung[4]) auf das septisch erkrankte Auge hauptsächlich nur Färbewirkung entfalten. Lösungen von 1:1000 werden vertragen und von Manchen gerühmt.

[a]) Staphylo- u. Streptococcus.

B. Von der Hoffnung beseelt, ein der 1 ‰ Sublimat- oder der 5 % Carbolsäure-Lösung gleichwerthiges, aber ungiftiges[5]) Mittel durch Mischung mehrerer, an sich schwächer wirkender Stoffe zu gewinnen, hat Rotter seine Pastillen hergestellt, deren jede enthält:

Zinc. sulfocarbol.,
Zinc. chlor. $\widehat{aa}$ 0,6,
Acid. boric. 0,4,
Acid. salicyl. 0,1,
Acid. citr. 0,01,
Thymol. 0,01.

Die Lösung von zwei dieser Pastillen auf 250 Gramm Wasser rühmt Nicden[6]) zur Reinigung der Hände, der Instrumente, des Bindehautsacks, der Verletzungs- und Operations-Wunden: während Eversbusch[7]) keinen Unterschied dieser Lösung von der physiologischen Kochsalzlösung bemerken kann.

II) Die zusammenziehenden Augenheilmittel[8])

spielen eine Hauptrolle in den Verschreibungen der praktischen Aerzte, noch heute, wie vor Jahrtausenden.

---

1) Für diejenigen Kranken, welchen der Jodoformgeruch zu unangenehm ist. Man kann auch das Kumarin, den Riechstoff der Tonkabohnen, des Waldmeisters u. a., oder Pfefferminz- oder Eucalyptus-Oel zu diesem Zweck verwenden.

2) Soll heisen Eitertod, von *πῦον* Eiter und *κτείνω* ich tödte.

3) Anilinfarbstoffe als Antiseptica. Strassburg 1890.

4) Braunschweig (A. Graefe), Fortschritte der Medizin, 1890, Nr. 11 u. 12.

5) Bei den kleinen Mengen von Sublimat und Carbol, die wir verwenden, kommen Vergiftungserscheinungen niemals vor.

6) C. Bl. f. A. 1889, S. 356 u. 1890, S. 230.

7) Ebendaselbst 1890. S. 130.

8) Collyria adstringentia. *Κολλύριον* bedeutet, wie das ägyptische aušš (Pap. Ebers), ursprünglich einen Teig, ein Brötchen, d. h. ein aus verschiedenen Stoffen zusammengeknetetes Heilmittel. Die örtlichen Augenmittel heissen bei Celsus Collyria oculorum. Später nannte man die flüssigen Augenheilmittel Hygrocollyria, die trocknen Xero-collyria. (*Ὑγρός* feucht, *ξηρός* trocken.) — Es ist ganz überflüssig, unsere wässrigen Lösungen der Zink- oder Blei-Salze Collyrien zu nennen, statt Augenwässer. — Das österreichische Arzneibuch hat ein Collyrium adstringens luteum (2,5 Zinc. sulf.: 0,75 Campher: 0,2 Safran: 40 Spiritus, 200 Wasser).

Aber es ist ein Missbrauch, bei jeder Klage über die Augen derartige Mittel, z. B. Zinksulfatlösung, zu verschreiben. Wirklich angezeigt sind sie bei den absondernden Bindehautentzündungen, die ja allerdings zu den allerhäufigsten Augenkrankheiten gehören.

Sodann muss man sie richtig anwenden und sich zunächst daran erinnern, dass die zusammenziehenden Mittel Eiweiss fällen und bei kräftiger Einwirkung das lebende Gewebe anätzen.

A. Metallsalzlösungen.

Es macht einen Unterschied, ob die wässrige Lösung des Metallsalzes,[1]) z. B. des Zinksulfat, mittelst der Umschläge eine Viertelstunde lang auf die Augapfeloberfläche einwirkt; oder ob nur einige Tropfen der Lösung 1—2 Mal täglich vom Kranken in den unteren Bindehautsack geträufelt werden; oder ob der Arzt selber eine einmalige Pinselung des oberen wie des unteren Bindehautsacks vornimmt und mit reinem Wasser nachspült.

Zu Umschlägen passt die Sättigung von 1:1000, zu Einträuflungen die von 1:500, zu Einpinselungen die von 1:100. Zu Umschlägen ist eine grössere Menge zu verschreiben (250 Gramm), zu Einträuflungen und Pinselungen eine kleinere (25 Gramm).

A. Zu den Umschlägen wird eine reine und reingehaltene Untertasse oder ein Schälchen mit der Lösung gefüllt, frisch geplättete Leinwandläppchen von Handtellergrösse, vierfach gefaltet, eingetaucht und feucht auf das Auge gelegt, auf jedes Auge eines; die Augen nach oben gerichtet, so dass ein Wenig von der Feuchtigkeit hineinkommt; nach einer Minute das Läppchen frisch eingetaucht, und dies etwa eine Viertelstunde lang fortgesetzt; dann die Lider abgetrocknet und das Schälchen entleert. —

B. Für die Einträuflung beherzige man, dass, um Verpilzung[2]) zu verhüten, 1) alle Augentropfwasser mit frisch gekochtem destillirtem Wasser zu bereiten und in frisch (zusammen mit dem Glas-

1) Die ungeheure Menge von pflanzlichen Mitteln dieser Art, welche leider die meisten Heilschriften der Griechen und Araber so schwer lesbar macht, und die sich bis in unser Jahrhundert hinübergerettet hat, ist zum Glück heutzutage aus unseren Arzneivorschriften geschwunden. Sogar der Augentrost (Euphrasia). — Das einzige, was gelegentlich noch Verwendung findet, ist die Gerbsäure: Acid. tannic., $C_{14}H_{10}O_9$; 1 Theil auf 25 Theile Wasser gelöst.

2) Die ich schon 1867 gefunden. — Die vom Apotheker bezogene Flasche voll Zinklösung verpilzt, auch uneröffnet, nach einigen Wochen. Die von mir im Heiss-Dampf-Ofen sterilisirte war nach Wochen noch vollkommen klar, obwohl sie inzwischen mehrfach geöffnet worden.

stöpsel) ausgekochte Fläschchen zu füllen sind; 2) dass bei der Einträuflung jede Verunreinigung zu vermeiden ist; 3) dass die Lösung regelmässig, nach ein bis zwei Wochen, [1]) zu erneuern und jedenfalls fortzuschütten ist, sowie sie anfängt, trüb zu werden.

Ist nur selten einzuträufeln, und ein einigermassen geschickter Mensch in der Umgebung des Kranken vorhanden; so kann man sich des Tropffläschchens bedienen, welches nur bei einer ganz bestimmten Drehung des Glasstöpsels aus einer eingeschliffenen Rinne den gleichförmigen Tropfen ausfliessen lässt, während natürlich durch eine andere, um 180 Winkelgrad von der ersten entfernten, an der Oberfläche des Stöpsels frei ausmündende Rinne eine entsprechende Menge Luft eintritt. [2])

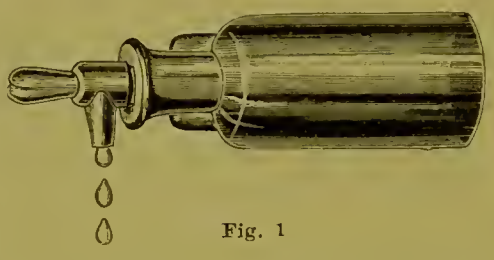

Fig. 1

Der Kopf des Kranken muss nahezu wagerecht liegen, das untere Lid abgezogen werden. Nach der Einträuflung wird der Stöpsel um einen rechten Winkel gedreht und so das Fläschchen fest, auch gegen Lufteintritt, verschlossen. [3])

Bequemer, da der Kranke hierbei sitzen kann, und leichter ist die Einträuflung mit dem Tropfglas: [a]) das ist ein beiderseits offenes, unten zugespitztes, aber abgeschliffenes, oben mit Gummikappe versehenes Glasröhrchen. Dasselbe ist dauernd unter Wasser aufzubewahren, und dazu täglich frisch gekochtes Wasser zu verwenden. Wer ganz sicher gehen will, lasse den Glastheil des Tropffläschchens

a) Pipette.

Fig. 2a.

Fig. 2b.

Fig. 2c.

täglich in kochendes Wasser, für eine Minute, einlegen. (Fig. 2, c ist das Tropfgläschen, in einer Glasbüchse mit Ueberfangdeckel).

1) Die Alkaloïdsalzlösungen (Atropin u. dgl.) lasse ich nach wenigen Tagen erneuern, in der Anstalt täglich.

2) Sehr gut sind die von Dr. L. Traube.

3) Um das Bestäuben der Luftöffnung zu verhüten, wird nach dem Gebrauch ein reiner Wattebausch um den Stöpsel gebunden.

Auch Fläschchen mit eingeschliffenem Tropfglas sind nützlich. (Fig. 2, a und b.) Aber um Uebertragung von Schleimtheilchen und Pilzen aus der Bindehaut in die Lösung möglichst zu verhüten, soll das Tropfglas, nach jeder Einträuflung, erst mit reinem (frisch abgekochtem) Wasser durchgespritzt werden, ehe es wieder im Fläschchen befestigt wird. Glasstäbchen sind leicht rein zu halten; doch nehmen sie immer nur einen Tropfen.

C) Die Pinsel (von 7,5 Ctm. Länge) werden vom Arzt durch Einlegen in starke Sublimatlösung gereinigt, oder durch einen kräftigen Wasserstrahl. Jeder Kranke erhält unbedingt seinen eigenen neuen Pinsel, zum ärztlichen Gebrauch.[1])

a) 4) Zinc. sulfur. 0,25
Aq. dest. 250,0.
S. Augenwasser zu Umschlägen, 3 Mal täglich, je 15 Minuten lang.

4 a) Zinc. sulfur. 0,05
Aq. dest. rec. coct. 25,0.
D. Mit Tropfglas. S. Abends zwei Tropfen einzuträufeln.

4 b) Zinc. sulfur. 0,25
Aq. dest. 25,0.
D. Mit Pinsel (7,5 Ctm.). S. Augenpinselwasser, zu Händen des Arztes.

b) Ziemlich gleichwertig mit dem Zinksulfat[2]) sind Bleiacetat. Kupfersulfat[3]) und Alaunkupfer. (Plumbum acetic. perfect.

1) Alle diese Kleinigkeiten sind sehr wichtig für die Praxis.

2) $ZnSO_4 + 7H_2O$. — Zink gehört zu den ältesten Augenheilmitteln. Bereits in dem ägyptischen Papyr. Ebers (1500 v. Chr.) spielt es eine Hauptrolle als Augenschminke unter dem Namen hetem, χatmi = *καδμία*, Galmei, Zinkcarbonat. Bei den alten Griechen stand hauptsächlich *πομφόλυξ* (Kupfer- und Zinkasche, Zinkoxyd, wörtl. Blase,) in Gebrauch und hohem Ansehen. (Vgl. z. B. Aëtius, VII, 10). In den mittelalterlichen Werkstätten der Scheidekünstler kam für die Zinkblume, ein unreines Zinkoxyd, der Name Nihilum album auf, der sich auf das geringe Eigengewicht bezieht; und das zweideutige Sprichwort: Nihilum conducit oculis. Noch in unseren Tagen fordert Einer „Nichts“ in der Apotheke und erhält eine Lösung von schwefelsaurem Zink oder in Wasser aufgeschwemmtes Zinkoxyd. — Der Name Tutia für Zinkoxyd stammt aus dem Arabischen und ist noch in unserem Jahrhundert gebraucht worden. — Die Vorschrift 4 a) rührt schon von A. G. Richter her.

3) Auch das Kupfer ist schon in den ältesten Augenheilmitteln der Aegypter und Griechen vertreten. Papyr. Ebers kennt: 1) uetú, Grünspan: 2) gesfen, Kupfervitriol; 3) χentë, Malachit, basisches Kupfercarbonat. Die Griechen gebrauchten: 1) *ἰὸς χαλκοῦ* Grünspan, Kupferacetat, a) *ἰὸς ξυστός*, b) *ἰὸς σκώληξ*. 2) *χαλκάνθης* Kupfervitriol (eisenhaltig); *χάλκανθος* ist eine solche Kupfervitriollösung: *χαλκοῦ ἄνθος* Kupferkörner. 3) *χαλκῖτις* wohl Kupfercarbonat. 4) *λεπὶς χαλκοῦ* Kupferhammerschlag. —

neutral. = $Pb.2(C_2H_3O_2) + 3H_2O$; Cuprum sulfur. = $CuSO_4 + 5H_2O$; Cupr. aluminatum). [1])

Der billigste Umschlag, von kräftig zusammenziehender Wirkung, ist

5) Liquor. plumbi subacet. 50,0

S. Fünf (bis zehn) Tropfen auf eine grosse Tasse voll Wasser, zu Umschlägen.[2])

(Bleiwasser, eine 2 % Verdünnung des Bleiessigs, wird gewöhnlich noch weiter verdünnt mit 2—3 Theilen Wasser und so zu Umschlägen auf das Auge verordnet, ist aber entbehrlich.)

Mit diesen Bleiumschlägen, dem Bleiwasser und dem Bleiessig in den erwähnten Verdünnungen, wird viel Missbrauch getrieben. Den meisten Kranken und auch vielen Aerzten scheint dies das beste, sowie ein Auge roth ist. Doch ist davor zu warnen bei Abschilferung der Hornhaut, in Folge von leichter Verletzung, oder bei Geschwürsbildung in der Hornhaut, wegen der Gefahr des kreideweissen Bleiniederschlags. (Incrustation.) — Weit besser sind verdünnte Chlorwasserumschläge.

c) Das allein herrschende Mittel gegen alle stärker absondernden Bindehautentzündungen ist die Einpinselung von Silbernitratlösung.[3])

Bei der einfachen Verschleimung der Bindehaut [a]) passt die Sättigung von 0,5 : 100; bei der Körnerkrankheit [b]) die von 1 : 100;

a) Catarrhus conjunctivae.
b) Trachoma.

---

1) Kupferalaun wurde seit dem vorigen Jahrhundert (St. Yves, Piderit, Beer u. a.) als der göttliche Stein, lapis divinus, gepriesen. Nach dem Arzneibuch des deutschen Reiches wird es aus 16 Theilen Kali-Alaun, 16 Theilen Kupfersulfat, 10 Theilen Kaliumnitrat zusammengeschmolzen und dann mit einem Theil Kampher und einem Theil Kali-Alaun gemischt. Es bildet hellgrünliche Stückchen oder Stäbchen. — Das schwefelsaure Kupfer ist reinblau.

2) Auch Bleiessig, Acet. plumbi, genannt. Dieser Bleiessig wird bereitet aus drei Theilen rohen Bleiacetats, einem Theil Bleiglätte (Bleioxyd) und zehn Theilen Wasser, enthält also basisch essigsaures Bleioxyd in wässriger Lösung. Bleiwasser, Aqua plumbi, wird bereitet aus einem Theil Bleiessig und 49 Theilen Wasser.

3) Argentum nitricum ($AgNO_3$), salpetersaures Silberoxyd. Von den Kranken als „Höllenstein" (lapis infernalis) gefürchtet. Doch ist das „höllische" Mittel wirksamer als das „göttliche"; und bei richtiger Anwendung nicht besonders schmerzhaft. Die gefährlichen Eiterungen der Bindehaut sind besonders erst seit der Mitte unseres Jahrhunderts, nachdem die örtliche Behandlung mit Höllenstein (namentlich durch A. v. Graefe) sorgfältiger ausgebildet worden, ihres Schreckens entkleidet und der ärztlichen Behandlung unterthan. Diese Behandlungsart ist ein Triumph des ärztlichen Wirkens, welcher sich ohne Scheu den besten operativen Leistungen zur Seite stellen darf. Vgl. A. f. O. I, 1, 199. (1854.)

a) Blenorrhoea conjunctivae.

bei dem Eiterfluss[a]) die von 2 : 100.[1]) Aber es kommt nicht allein auf die Verschreibung an, sondern auch auf die Anwendung. Mit derselben Lösung kann der Arzt, je nachdem er rascher oder langsamer wieder abspült, entweder schwächere oder stärkere Wirkungen entfalten.

6a) Argenti nitrici 0,1
Aq. destill. 20,0.
In brauner Flasche.[2]) Mit Pinsel (von 7,5 Ctm. Länge).
Bei Catarrh. ($^1/_2$ %).

6b) Argenti nitrici 0,25
Aq. destill. 25,0.
In brauner Flasche. Mit Pinsel. — Bei Trachom. (1 %).

6c) Argenti nitrici 0,5
Aq. destill. 25,0.
In brauner Flasche. Mit 2 Pinseln. — Beim Eiterfluss. (2 %).

Durch den Arzt wird auf die Innenfläche der kunstgerecht umgestülpten Lider von der Lösung aufgepinselt, und der Ueberschuss bei a und bei b mit reinem Wasser abgespült; bei c mit gesättigter Kochsalzlösung, wobei unlösliches Chlorsilber in weissen, käsigen Flöckchen ausfällt.

b) Lapis infernal. purus.

Den Höllensteinstift, auch den gemilderten,[3]) den A. v. Graefe beim Eiterfluss bevorzugte, habe ich seit vielen Jahren gänzlich aufgegeben. Der reine Höllensteinstift[b]) wurde früher zur Zerstörung des vereiterten Thränensacks angewendet: für die Bindehaut eines noch hoffnungsvollen Auges ist er viel zu gefährlich. (Nur wenn durch Eiterfluss der eine Augapfel schon zerstört ist, der andere aber gesund geblieben; kann man zur rascheren Beseitigung des ansteckenden Eiters den reinen Höllensteinstift verwenden.)

Auch der einfach gemilderte Höllensteinstift (aus einem Theil Silber-, einem Theil Kali-nitrat) ist im Allgemeinen zu stark für das Auge. Der zweifach gemilderte

---

1) Es ist leicht zu behalten: $^1/_2$, 1, 2%.

2) D. in vitr. fusco. Verschreibt der Arzt, wie gewöhnlich, in vitr. nigr., so liefert der Apotheker doch meist eine braune Flasche. (Wer durchweg lateinisch verschreiben will, muss wissen, dass der Pinsel penicillum heisst.) Silbernitrat zersetzt sich unter dem Einfluss des Lichtes bei Gegenwart organischer Stoffe, wozu schon der Staub der Luft hinreicht. Die $^1/_2$procentige Lösung ist spätestens nach vier, die einprocentige Lösung nach zwei Wochen zu erneuern. Die zweiprocentige kann bis zu Ende aufgebraucht werden, wenn man für jede Pinselung zwei kleine Gläschen (Näpfchen) benutzt, eines zum Eingiessen der nöthigen Menge des Mittels, eines für die gesättigte Kochsalzlösung. Diese Gläschen und die Pinsel sind nach jedesmaligen Gebrauch sorgfältig zu reinigen. — Lösungen, die von vornherein unklar sind, muss man zurückweisen.

3) Argent. nitric. c. kalio nitrico (1 : 2). — Arzneibuch des deutschen Reiches.

(aus einem Theil Silber-, zwei Theilen Kali-nitrat) wurde beim Eiterfluss früher (von A. v. Graefe) statt zweiprocentiger Lösung des Silbernitrats: der dreifach gemilderte Stift (aus einem Theil Silber-, drei Theilen Kali-nitrat) bei der Körnerkrankheit statt der einprocentigen Lösung des Silbernitrats in Anwendung gezogen. Auch vier- und fünffach gemilderte Stifte waren vorräthig. Alle Höllensteinstifte werden rauh, bröcklig, wie verwittert an der Oberfläche: namentlich, wenn sie nicht ganz frisch sind. Deshalb wurde der Rath gegeben, den Stift vor dem Gebrauch einen Augenblick in Wasser zu tauchen und mit einem reinen Leinwandläppchen abzuwischen. Wenn aber trotzdem und trotz der nachträglichen Ausfällung mit der Kochsalzlösung doch kleine Bröckelchen des Höllensteins in den Vertiefungen der geschwollenen Bindehaut zurückbleiben, so kann nachträglich eine Verätzung der Hornhaut eintreten.

Der Geübte mag den reinen oder mässig gemilderten Höllensteinstift mit Sicherheit handhaben: für den angehenden Arzt sind die Lösungen weit zuverlässiger.

Silbernitratlösung, auf die Lidschleimhaut und Umschlagsfalte gepinselt, heilt den Eiterfluss des Auges. Dies ist eine seit langer Zeit sicher gestellte Thatsache. Schwankend waren aber die Meinungen über die Art dieser Wirkung.

Als man die „Contraction des aufgelockerten Zellstoffs“ [1]) schon wieder vergessen, und des „Contrastimulus“ sich zu schämen begann; da schien „die Zusammenziehung und rasche Flüssigkeitsentlastung der Bindehautblutgefässe“ [2]) eine brauchbare Formel abzugeben. Und nachdem die bestechende Vermuthung, dass der Höllenstein die Mündungen[a]) zwischen den Epithelzellen verstopfe und so den Eiterkörperchen den Austritt versperre, fast ebenso rasch, wie aufgestellt, auch schon wieder aufgegeben worden; möchte man heutzutage die Vernichtung der Eiter-(Tripper-) Pilze [3]) in den Vordergrund drängen.

a) Stomata.

Jedenfalls wird durch Silbernitrat das lebende Eiweiss der oberflächlichen Deckzellen[b]) der Schleimhaut gefällt, die Zellen abgetödtet [4]) und sammt den darin befindlichen Pilzen abgestossen.

b) Epithelien.

Unmittelbar nach der Aetzung ist die geröthete, geschwollene Bindehaut von einer weisslichen, festhaftenden Schicht, dem Brandschorf,[5]) überzogen. Im Laufe einiger Stunden wird diese todte Masse abgestossen, die Schleimhaut ist wund und leicht blutend. Im Laufe einiger weiterer Stunden ergänzt die Oberfläche sich wieder, und allmählich kommt es von Neuem zur Eiterabsonderung.[6]) Jetzt muss

---

1) C. Graefe, augenärztl. Heilformeln (1817), S. 139.

2) A. v. Graefe, Arch. f. O. I, 229 (1859). — Uebrigens ist Silbernitrat in der That das wirksamste Mittel, um die Blutgefässwände zusammenzuziehen. stärker als Bleiacetat und Eisenchlorid, wenigstens nach Untersuchung des curarisirten Frosches. (Rosenstirn-Rossbach, 1876.)

3) Diese Annahme wird gestützt durch Crédé's Prophylaxe. (Einträufelung eines Tropfens der zweiprocentigen Silbernitratlösung in das Auge des soeben Geborenen verhütet den Ausbruch der Bindehauteiterung.) Versuche mit Reinkulturen des Gonococcus stehen noch aus.

4) Vgl. Prosoroff, Arch. f. O., XI, 3, 154.

5) Eschara: ἐσχάρα wörtlich Feuerherd, übertragen Brandschorf, z. B. nach Aetzung der Bindehaut. So schon bei Hippocratos. (Von der Sehkraft, 4. — Ausg. v. Littré, IX, 156.)

6) Nur bei leichten und ganz frischen Fällen tritt nach der ersten Aetzung die Heilung ein. Für gewöhnlich ist die Aetzung kein „Abortivmittel.“

die Aetzung wiederholt werden, ehe der frühere Zustand wieder erreicht ist. So fällt die Krankheit treppenförmig ab und heilt etwa in ein bis zwei Wochen. In der Praxis genügt es meistens, einmal täglich die Aetzung vorzunehmen.

Bei lange fortgesetzter Einträuflung (Einpinselung) auch schwächerer Lösungen von Höllenstein tritt eine dauerhafte graue Verfärbung der Bindehaut[1]) auf, welche den Arzt gemahnt, ein anderes nicht färbendes Metallsalz, z. B. das Zinksulfat, in Anwendung zu ziehen.

B. Stifte.

Weit besser als die Höllensteinstifte und sehr nützlich, namentlich bei der Körnerkrankheit, ist der Kupferstift.

R. Cupri sulfur. bacill. laevigat. ad capsul. lign. Mit Pinsel.

Der Stift wird schön geschliffen, von der Gestalt eines vorn abgerundeten Kegels, in bequemer Holzfassung geliefert. Der Stift wird vom Arzt sanft über die Oberfläche der geschwollenen Bindehaut gestrichen, und mit Wasser nachgespült. Der angehende Arzt vergesse nicht, dass Touchiren eben — berühren heisst. Die Anwendung wird jeden zweiten Tag wiederholt.

Die Stifte aus Kupferalaun, aus Alann, aus Zinksulfat sind entbehrlich.

C. Salben.

Zusammenziehende Salben statt der Lösungen anzuwenden, ist hauptsächlich nur in den seltenen Fällen angezeigt, wo bei langwieriger Körnerkrankheit der Kranke wirklich ausser Stand ist, regelmässig zum Arzt zu kommen, so dass ein Nichtarzt die örtliche Behandlung vornehmen muss.[2]) Für diesen ist es ja leichter, mit einem Glasstäbchen ein Wenig von der Salbe in den unteren Bindehautsack einzustreichen. Durch den Lidschlag wird die Salbe gleichmässig vertheilt und kommt auch mit dem oberen Bindehautsack in Berührung, — allerdings auch mit der Hornhaut. Deshalb sind Bleisalze zu vermeiden, Kupfersalze vorzuziehen, nur schwache, etwa zweiprocentige Salben zu verordnen, Zusatz von schmerzstillendem Cocaïn anzurathen. Nach $^1/_4$ Stunde ist der Rest der Salbe auszuwaschen und für $^1/_2$ Stunde kühle Umschläge aufzulegen. Die An-

1) Argyrosis, Versilberung genannt, von *ἀργυρόω*. Die dunkelgraue Verfärbung der Haut und der Schleimhäute, welche nach lange fortgesetztem innerlichen Gebrauch von Silbersalzen vorkommt, heisst Argyria. (Bei Strabo ist *ἀργυρία ἀργύρου γενέθλη.*) Schon die alten Griechen warnten vor echt färbendenden Augenheilmitteln. (Aët. p. 131.) — Die genauere Beschreibung dieser Versilberung wird später folgen.

2) Mannhardt hat mit solchen Salben in Constantinopel Tausende von Körnerkranken erfolgreich behandelt.

wendung geschieht täglich oder jeden zweiten Tag und ist auszusetzen bei stärkerer Reizung des Auges. Spätestens nach vier Wochen soll ein neues Salbentöpfchen besorgt werden. Von Zeit zu Zeit müssen die Kranken dem Arzt sich vorstellen.

Sehr grosse Sorgfalt ist auf die Salbengrundlage zu verwenden.

Die gewöhnlichen Fette, Butter und Schmalz, sind gut für die Küche; aber zu Augensalben nicht brauchbar. Denn sie werden zu leicht ranzig, d. h. unter Freiwerden der stark reizenden Fettsäuren zersetzt.

a) Das amerikanische Vaselin, ein aus den Petroleumrückständen gewonnenes Weichparaffin[1]) von butterähnlicher Beschaffenheit, schmilzt etwa bei 33—35° C., bleibt an der Luft unverändert und wird nicht ranzig. Deshalb ist es zu Augensalben sehr geeignet; besser als das deutsche, welches erst bei 41—42° C schmilzt.

Das deutsche Arzneibuch enthält nur die Paraffinsalbe[a]) welche aus 1 Theil festen Paraffins und 4 Theilen flüssigen Paraffins bereitet wird, zwischen 40 und 50° C sich verflüssigt, also für unsere Zwecke zu starr ist[2]).

a) Unguentum Paraffini.

b) Lanolin, das gereinigte Schaafwollfett[3]), hat eine gute Salbenbeschaffenheit und grosse Brauchbarkeit, obwohl es gelegentlich im Bindehautsack Reizung verursacht.

Von älteren Salbengrundlagen verdienen noch Beachtung:

c) die Glycerinsalbe[b]) welche aus 10 Theilen Weizenstärke, 15 Wasser, 100 Glycerin, 2 Traganth, 5 Weingeist, unter Erhitzen, dargestellt wird.

b) Ung. Glycerini.

d) Coldcream,[c]) aus 4 Theilen Wachs, 5 Walrat, 32 Mandelöl, 16 Wasser bereitet. (Zu 50 Gramm dieser Salbe mischt man 1 Tropfen Rosenöl. — Doch ist für das Auge der Duft entbehrlich).

c) Ung. leniens

7) Cupri sulf. 0,25—0,5
Ung. Glyceriui 10,0.
Mit Glasstäbchen.

1) Paraffine sind Kohlenwasserstoffe, die bei der trockenen Destillation organischer Stoffe gewonnen werden. Von Alkalien und Säuren werden sie nicht verändert. Daher der Name: parum affinis. — Vaselin ist bekannt seit 1876. (Ausstellung in Philadelphia.)

2) Man kann die Salbenfette eintheilen in butterartige mit einem Schmelzpunkt von 30—40°, talgartige mit einem Schmelzpunkt von 40—50°, wachsartige mit einem Schmelzpunkt von 50—60°. Nur die erste Art ist für unsere Zwecke gut brauchbar.

3) Fettsäureverbindungen (Aether) der als Cholestearin und Isocholestearin bekannten Alkohole.

7 a) Cupri sulf. 0,25
Cocaïni hydrochlor. 0,25
Ung. Glycerini 10,0.

Auf den Lidrand hat man seit Jahrtausenden Salben und Schminken[1]) aufgestrichen. In der That ist für die Lidrandentzündung das geeignetste Mittel die zusammenziehende Salbe. Dieselbe wird Abends auf die Aussenseite des Lidrandes aufgestrichen und Morgens mit einem Bäuschchen sterilisirter Verbandwatte wieder abgetupft. Die Salbe sei zweiprocentig. (Einprocentig wird sie gegen die Bindehautbläschen[a]) der Kinder in den Bindehautsack eingestrichen). Quecksilberoxyd ist das beste Mittel für diese gelben[2]) Salben, schon seit den Tagen von Boerhave, Richter und A. Schmidt[3]).

a) Phlyktaenen.

8) Hydrarg. oxyd. flavi
viâ humidâ parati 0,05—0,1
Ung. lenient. 5,0.

Durch den Versuch kann man sich leicht überzeugen, wie viel besser diese Salbe wirkt, als das ältere Ung. ophthalmic. (Hydr. oxyd. rubr. 1, Butyr. insuls. 30.) Vollends ist die rothe Quecksilbersalbe (Ung. Hydrarg. rubr.) des neuen deutschen Arzneibuches — aus 1 Theil rothem Quecksilberoxyd und 10 Theilen Paraffinsalbe — zu stark und zu starr für unsere Zwecke. Auf unserem Gebiet ist sorgfältige Auswahl von grösster Wichtigkeit.

E. Pulver.

Von zusammenziehenden Pulvern sind nur wenige empfehlenswerth[4]).

9) Zinc. oxyd. 1,0
Amyli 4,0.

In Flasche, mit Pinsel. Ein bis zwei Mal täglich auf die Haut der Lider zu stäuben. (Bei juckendem Ausschlag, Eczem).

---

1) Die alten Aegypter bevorzugten dazu Antimon. (Das berühmte mstm, stm, *στίμμι*.) — Die Vorschrift Antimonii crudi laevigat. Scrup. 1, Cerat. Drachm. 1, als Lidsalbe hat sich bis zu unserem Jahrhundert erhalten. (Formulaire à l'usage des hôp. milit. franç.)

2) Graue Verfärbung bedeutet Verderbniss der Salbe.

3) Auch nach dem älteren Pagenstecher wird sie benannt. — Sie ist übrigens ein beliebtes Allheilmittel mancher Quacksalber.

4) Gepulverter Bleizucker (Bleiacetat), noch in neueren Lehrbüchern empfohlen, ist — ein Pferdemittel.

10) Hydrarg. chlorat. [1]), vapore parat., 5,0.
In Flasche. Mit feinem Pinsel.

Beim Bläschencatarrh[a]) der Kinder wird eine zarte Wolke des Pulvers auf die Augapfeloberfläche gestäubt. (Der Pinsel wird dazu in die Flasche getaucht, durch Anschlagen des Mittelfingers in die Luft ausgestäubt, und der Rest des Pulvers durch ein zweites Anschlagen des Fingers in das Auge gebracht. Es ist durchaus nöthig, das durch Dampf bereitete Quecksilberchlorür[2]) zu verschreiben und in einer geschlossenen Flasche aufzuheben, weil es sonst, durch Wasseranziehung, zu Klümpchen sich zusammenballt. Das Mittel ist schmerzlos und braucht nicht wieder ausgewaschen zu werden.

a) Conjunctivi phlyktaenode

Die Wirkung ist eine chemische. Das in Wasser völlig unlösliche Calomel geht, in Gegenwart der kochsalzhaltigen thierischen Säfte und unter Einwirkung der im Bindehautsack des Warmblüters vorhandenen Temperatur, theilweise (unter Abspaltung von Quecksilber) in lösliches Sublimat über, das, in statu nascendi, seine zusammenziehende Wirkung auf die Bläschen und die erweiterten Blutgefässe der Bindehaut entfaltet. Die Reaction ist nachträglich auch in der Retorte gelungen[3]).

Stäubt man täglich Calomel in den Bindehautsack ein, so lässt sich Sublimat im Harn nachweisen, wenn man grössere (etwa achttägige) Harnmengen mittelst eines feineren Verfahrens, z. B. mit Messingwolle, untersucht.[4])

Wenn Calomel in den Bindehautsack gestäubt, und innerlich ein Jodpräparat verabreicht wird, soll Aetzung der Bindehaut durch Jodquecksilber entstehen.

Falls, wie gewöhnlich, einige Stunden, nachdem das Jodpräparat eingenommen worden, der Arzt die Einstäubung des Calomel vornimmt; so ist eine Anätzung der Bindehaut nicht zu beobachten, da das Jodkali zu schnell wieder ausgeschieden wird. Nur wenn ich, zum Versuch, einen Esslöffel voll Jodkalilösung (5:250) oder einen Theelöffel voll verdünnten Jodeisensyrups (10:50) unmittelbar vor der Einstäubung einnehmen liess; trat nach wenigen Minuten Reizung und Thränen des Auges ein: das (bläulich verfärbte) Calomelflöckchen musste ausgewaschen werden; die Heilwirkung war trotzdem, bei Hornhautflecken, recht günstig. Giesst man auf

1) Quecksilberchlorür, Calomel, Hg. chlor. mite.

2) Calomel. subtiliss.

3) Fleischer, deutsch. med. W. 1885.

4) Kämmerer, Virchow's Arch. B. 59, S. 459. Alsberg, Knapp's Arch. IX, 413.

Calomel eine kochsalzhaltige Jodkalilösung, so tritt eine ähnliche Verfärbung und Zersetzung ein. (Vergiftungsversuche bei Thieren sind für diese Frage unnöthig und unbrauchbar). Stärkere Anätzung der Bindehaut muss eintreten, wenn dem milderen Quecksilberpräparat der „ätzende" Bruder, das Quecksilberbichlorat, beigemengt war! Das kommt bei uns nicht vor. —

Zu den zusammenziehenden Mitteln gehört auch die Kälte[1]).

Kühle Wasserumschläge werden bei einfacher Bindehautverschleimung zwei bis drei Mal täglich, je $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde lang angewendet: ein grosser, sauberer Napf wird mit reinem, kühlem Wasser gefüllt; reine (geplättete) Leinwandläppchen von Handtellergrösse, vierfach gefaltet, werden (mit reiner Hand) eingetaucht, sanft ausgedrückt, auf das Auge gelegt, nach einer Minute wieder frisch eingetaucht, u. s. w.

Kalte Waschungen sind diesen Kranken angenehm, Augen-Wännchen und -Bäder nicht mehr in Gebrauch. Empfindlichen Kranken, namentlich des weiblichen Geschlechts, kann man auch die Brause[a]) verordnen und sie — dadurch befriedigen: ein Standgefäss voll kühlen Wassers wird hochgestellt, einige Fuss über den Kopf des Kranken; eine knieförmige Glasröhre in das Wasser eingetaucht, und mittelst eines an der Röhre befestigten Gummischlauches mit siebförmig durchbohrter Endplatte der Sprühregen des kühlen Wassers aus der Entfernung von etwa zwanzig Ctm. für fünf Minuten gegen die geschlossenen Lider geleitet[2]).

a) Douche.

Bei dem Eiterfluss der Bindehaut sind Eisumschläge angezeigt. Dieselben werden in den ersten zwei Tagen der Erkrankung ziemlich ununterbrochen angewendet: Leinwandläppchen, auf reinem Blockeis gekühlt, werden auf das Auge gelegt und immer nach einer Minute gewechselt. Es genügt meistens, die Umschläge vier bis fünf Mal täglich, je eine Stunde lang, auch Nachts zwei bis drei Mal, je $^1/_2$ Stunde lang, anzuwenden. Sowie die Krankheit abnimmt, werden die Umschläge weniger lange und weniger kalt gemacht.

Durch Eisumschläge wird die Bindehauteiterung beschränkt, durch heisse Breiumschläge befördert oder hervorgerufen.

Werden aber Eisumschläge bei blossem Bindehautcatarrh Tag und Nacht fortgesetzt, so entsteht Anschwellung der Lider und der Augapfelbindehaut[b]).

b) Eis-Oedem.

1) Zu den erschlaffenden die Wärme.

2) Flüssigkeits-Zerstäuber werden gerühmt und angewendet gegen Hornhautfell nach der Körnerkrankheit.

Eisbeutelchen und Leiter'sche Metallröhren, die stets von kühlem Wasser durchströmt werden, sind weniger geeignet: das Auge verträgt selbst mässigen Druck [1]) nicht gut.

III. Die entzündungswidrigen [2]) Augenheilmittel

sind vielfach überschätzt worden.

Der Aderlass [3]) schien noch im ersten Drittel unseres Jahrhunderts ganz unentbehrlich gegen Eiterfluss des Auges; und doch sind dabei Hunderte, ja Tausende erblindet. Den Aderlass musste ich noch bei Wundschmerz nach Star-Schnitt, als Assistent von Graefe's, [4]) anwenden: die Erfolge blieben ohne das heroïsche Mittel genau so wie zuvor. Ich wüsste keinen Fall, wo wegen Augenkrankheit [5]) der Aderlass zweckmässig wäre.

Auch Blutegel [6]) bis zur Ohnmacht (zehn bis zwanzig und mehr) sind völlig wirkungslos gegen Augenentzündung, z. B. Augentripper. Nur der entzündliche [a]) Schmerz, der bei Betastung des Augapfels lebhaft hervortritt, wird durch Blutegel gelindert. Vier Blutegel

a) Bei Kerati Iritis.

---

1) Deshalb ist auch die sogenannte Massage des Auges nur mit Vorsicht anzuwenden. Das Reiben und Drücken des (coeaïnisirten) Augapfels kommt in Betracht bei Gefässverstopfung [b]); das Reiben der Hornhaut, auch mit Queeksilbersalben, bei Fell [c]) und Trübung der Hornhaut; das Reiben der Bindehaut, auch mit Aetzmitteln, bei der Körnerkrankheit. [d])

b) Embolie u. Thrombose d. Netzhautarterie

c) Pannus.

d) grauulös Bindehautentzündung

2) Antiphlogistica, von *ἀντί* wider und *φλογίζω* ich brenne. — (Das Wort ist neu und mittelmässig. — *Ἀντιφλογίζω*, vicissim flagro, Thes. ling. graec.).

3) Die alten Griechen sagten fast bei jeder Augenkrankheit *Θεραπεύειν δὲ φλεβοτομοῦντα ἀπ' ἀγχῶνος*, während die noch älteren Aegypter fast nur örtliche Mittel gegen die Augenleiden anwendeten.

4) A. f. O. IX, 2, 132. (Vier bis seehs Unzen.) Da bei den greisen Staroperirten häufig Delirien eintraten, erbat und erlangte ich das Aufgeben des Aderlasses.

5) Ueberhaupt kein chirurgisches Leiden, keine Art von Entzündung äusserer oder innerer Theile, — sondern lediglich die Erstickungsgefahr.

6) Blutegel werden schon bei Hippocrates erwähnt (Prorrhet. II., 47; A. v. Littré, IX, 44): doch als Heilmittel zuerst bei Themison (im ersten Jahrh. v. Chr., vgl. Cael. Aur., m. chron. I. 1, p. 286, Ed. Amman) und bei Aretaeus (im ersten Jahrh. n. Chr., A. v. Kühn, S. 275, 290, 337). Ihre vollständige Anwendung lehrte Galen (im zweiten Jahrh. n. Chr., A. v. Kühn, B. XI. S. 317—19), einschliesslich der in unserem Jahrhundert „erfundenen" Bdellotomie. Bei Augenentzündungen wurden von den Griechen Blutegel nicht angewendet, desto mehr von unseren unmittelbaren Vorgängern. Vgl. Jüngken, Augenop. 1829. 67—80: „Die Blutegel bieten eines der unentbehrlichsten Heilmittel, dem unzählige Kranke die Erhaltung ihrer Augen zu danken haben." Ich sah noch Kranke, denen J. einen Centner Blut entzogen hatte, — natürlich nicht auf ein Mal.

werden (Abends) dem Erwachsenen an die Schläfe gesetzt, da wo dem Mann der Backenbart spriesst: nicht näher zum Lidwinkel, weil sonst
a) Oedem. Lidschwellung[a]) erfolgt; nicht an das Nasenloch, weil dies ganz unwirksam scheint; und nicht an den Augapfel, weil dies gefährlich ist.[1])

Der künstliche Blutegel,[2]) welcher aus zwei Theilen besteht, dem (entweder durch Abrollen einer Schnur oder durch eine aufgezogene Feder in Bewegung gesetzten) kreisförmigen Locheisen und dem Sauger, dessen Glascylinder 30 Gramm fasst, war[3]) und ist bei vielen Aerzten beliebt gegen die inneren Augenentzündungen.

Die einzige sichere Wirkung, die ich von dem künstlichen Blutegel gesehen, besteht in den hässlichen Narben der Schläfenhaut.[4]) Mitunter fand ich auch, dass man junge Mädchen, — ganz überflüssiger Weise, wegen der Dehnungserscheinungen in der Netzhautmitte des kurzsichtigen Auges, die irrthümlich als Netzhautentzündung bezeichnet werden, — durch fortgesetzte Anwendung dieses „Heurteloup" blutarm gemacht hat.

Wenn in neueren Lehrbüchern der Augenheilkunde Blutentziehungen[5]) noch gepriesen werden, während sie sonst aus der Heilkunde so ziemlich verschwunden sind; so beweist dies mir nur, dass in den letzten Jahren die Augenheilkunde, etwas zu stolz auf ihren

---

1) Jüngken, Augenop., S. 69: „Bei eingewurzeltem Pannus hat man mit Erfolg Blutegel selbst an den Augapfel gesetzt."

A. v. Graefe führt einen Fall an, in welchem ein Wundarzt den Blutegel an den Augapfel gesetzt und Erblindung des letzteren bewirkt hatte. Dasselbe Unheil ist auch in Belgien (von Lebrun) einmal beobachtet worden.

Talko (C. Bl. f. A. 1882, S. 400) fand bei Russen, die sich dem Kriegsdienst entziehen wollten, in der Hornhautmitte die dreistrahlige Narbe des Blutegelbisses und eine entsprechende Kapseltrübung. Kaninchenversuche ergaben, dass, wenn der Blutegel an der Hornhautrand gesetzt wird, Blutungen in die Vorderkammer, in den Strahlen- und den Glaskörper erfolgen.

2) Von Heurteloup, Paris 1840.

3) Auch A. v. Graefe huldigte dieser Ansicht; doch ist seitdem ein Menschenalter vergangen.

4) Allerdings bewirkten die alten Griechen noch stärkere, ja geradezu grässliche Narben am Kopf zur vermeintlichen Heilung von Augenentzündung. (Man lese z. B. in der Chirurgie des Paullus von Aegina die Abschnitte über Arteriotomie, Angiologie, Hypospathismus, Periskyphismus). Und die Sudan-Neger machen sogar zur Verhütung von Augenentzündung drei grosse, senkrechte Schnitte in der Schläfengegend. Aber wir brauchen dies nicht nachzuahmen.

5) Die vorübergehende Verengung von Aderhautgefässen, welche Schneller (A. f. O. III, 2, 176) nach Blutentziehung, beim Kaninchen, mit dem Augenspiegel beobachtet hat, ist für das Heilen nicht zu verwerthen.

Ruf, und von der allgemeinen Medicin etwas zu sehr losgelöst, — in mancher Hinsicht an den Fortschritten der letzteren nicht theilgenommen hat. Wenn man noch heutzutage die natürlichen Blutegel gegen die äusseren Augenentzündungen preist und gegen die inneren nur die künstlichen Blutentziehungen empfiehlt; so ist das nichts anderes, als ein verbreitetes Vorurtheil.[1])

Trockne Schröpfköpfe an die Schläfe oder in den Nacken können die Kranken beschäftigen, zerstreuen, befriedigen; eine Heilwirkung bei Augenkrankheiten besitzen sie nicht. Der Schröpfstiefel[2]) wurde noch von meinem Lehrer Jüngken angewendet, um das Blut vom Auge abzuleiten.

Heutzutage schämt man sich dessen, verschreibt aber ableitende Fussbäder von 30° C. mit Scheidewasser (einem Theelöffel voll) oder (was jedenfalls besser ist,) mit einer Hand voll schwarzen Senfs, vor dem Schlafengehen zehn Minuten lang anzuwenden.

Blasenpflaster hinter den Ohren machen Eiterung, Eczeme, gelegentlich selbst einen gefährlichen Rothlauf; aber gegen chronische Augenentzündung wirken sie ebenso wenig wie Haarseilchen an den Schläfen, oder im Nacken, oder Brandwunden am Rücken, oder künstliche Eiterungen[a]) am Arm[3]) oder wie Brech-, Abführ- oder Schweissmittel.

a) Fontanel

Von den schweisstreibenden Mitteln kann man wenigstens zur Aufsaugung krankhafter Ausschwitzungen, z. B. bei Netzhautablösung, Gebrauch machen.

11) Pilocarpini hydrochlorici 0,1
Aq. dest. (rec. coct.) 5,0.

Hiervon wird dem Erwachsenen jeden zweiten Tag eine Spritze[4]) voll (1 Gramm der Lösung, d. h. 0,02 des Pilocarpinsalzes, die grösste Einzelgabe des deutschen Arzneibuches,) unter die Haut gespritzt.

1) Vgl. die Inaug. Diss. von Niessen, Bonn 1891. Die lebenden Blutegel bewirken langsame Entziehung einer grösseren Menge Blutes, ihre Wirkung ist eine depletorische. Der künstliche Blutegel entzieht schnell das Blut, aber im ganzen wenig; setzt temporäre Anaemie mit nachfolgender Hyperaemie, wirkt also nicht depletorisch, sondern resorptionsbefördernd.

Das liest sich wie ein alter Araber oder wie ein Naturphilosoph vom Anfang unseres Jahrhunderts.

2) Von Junod, Revue médicale, Paris 1851, Sept.

3) Oder wie Ohrringe bei uns und Amulette im Morgenland.

4) Das erste Mal $^3/_4$ Spritze voll. — Jaborandi heissen in Brasilien die Blätter eines dort einheimischen Strauches. (Pilocarpus pennatifolius, Rutac.) Ihr wirksamer Bestandtheil ist das Alkaloid Pilocarpin, $C_{11}\,H_{16}\,N_2\,O_2$. Wenige Minuten

Bequemer ist es für die meisten Menschen, ein bis zwei Gramm salicylsauren Natrons in heissem, dünnem Thee oder Kaffee einzunehmen und sich gut in Decken zu hüllen. Gewöhnlich erfolgt danach ergiebiges Schwitzen.

Natürlich, wenn Störung des Allgemeinzustandes Augenkrankheit verursacht hat, wird man durch Besserung der Gesundheit auch die Augen bessern: insofern können, neben den örtlichen, auch innerliche Mittel der verschiedensten Art, auflösende, abführende, stärkende, blutbildende, und selbst Bäderkuren, für Augenkranke in Betracht kommen.

IV. Specifische[1]) Augenheilmittel

giebt es nicht,[2]) eher specifische Augenkrankheiten. Namentlich die syphilitischen pflegt man heutzutage so zu nennen, während früher jenes Beiwort eine umfassendere Bedeutung besass.

A) Syphilitische Augenentzündungen sind sehr häufig. Meist sind sie secundär. Die Primärgeschwüre der erworbenen Syphilis kommen in der Augengegend, aus leicht begreiflichen Gründen, nur selten vor. Aber viel zahlreicher, als man früher gedacht hat, sind Augenleiden in Folge von angeborener Syphilis.

Das Heilmittel der syphilitischen Augenentzündungen ist Quecksilber. Dieses wirkt in manchen Fällen wahrhaft Wunder. Sogar vollständige Erblindungen aus dieser Ursache werden in kurzer Zeit und selbst dauernd geheilt. Es ist ungereimt, bei syphilitischer Entzündung der Ader- und Netzhaut den Kranken statt des Heilmittels ein Recept, welches nicht hilft, z. B. Jodkali, zu verschreiben.

Ich bevorzuge die Einreibungscur. Erwachsene erhalten zwei Mal täglich je zwei Gramm grauer Salbe an den verschiedenen Körperstellen[3]) eingerieben, fünf Tage lang, dann ein Bad und drei

---

nach der Einspritzung beginnt Schweiss und Speichel und dauert ein bis zwei Stunden. (Es wird ungefähr $^1/_2$ Liter Schweiss und noch mehr Speichel abgesondert.) Eine unangenehme Begleiterscheinung ist Erbrechen, das namentlich dann auftritt, wenn man gleich das erste Mal die volle Gabe verabreicht. — Bei Herz- und Nierenleiden ist diese Behandlung zu vermeiden.

1) Für specialis, eigenartig, wurde im Mittelalter specificus eingeführt. Die Aerzte des sechzehnten Jahrhunderts bemächtigten sich des Wortes, um eine besondere Heilwirkung eines bestimmten Mittels für eine bestimmte Krankheit zu bezeichnen.

2) So bestimmt unsere wissenschaftlichen Grossväter dies auch behauptet haben. (Vgl. Himly Augenkr. 1843, I, 34).

3) Stirnsalben sind nicht ganz ohne Wirkung, aber die zusammengesetzten Formeln der früheren Schulen haben keinen Sinn.

Tage Ruhe: so acht bis zwölf Wochen hindurch. Für Mundpflege und regelmässigen Stuhlgang ist Sorge zu tragen. Auch bei Durchfall gebe man Ricinnsöl.

Grössere Kinder erhalten ein (oder zwei) Mal täglich ein Gramm grauer Salbe; kleine 0,75 Gramm; Säuglinge 0,5 Gramm. Bei Kindern tritt Mundentzündung so gut wie niemals ein, bei Erwachsenen selten.

Zur Unterstützung der Einreibungskur dient der innerliche Gebrauch von Jodkali[1]) (2—5 Gramm, selbst 10 Gramm täglich für Erwachsene) und Schwitzen mit Holzthee.

Die Nachbehandlung dauert, wenn dies möglich ist, zwei bis drei Jahre: alle drei Monate erfolgt eine gelinde Einreibungskur von mehrwöchentlicher Dauer. In der That habe ich dabei etliche Fälle von syphilitischer Erblindung fünfzehn bis zwanzig Jahre lang nach der Heilung ohne jeden Rückfall der Grundkrankheit beobachtet.

Auch die Einspritzungen von Quecksilber unter die Haut sind recht wirksam; die unter die Bindehaut des syphilitisch erkrankten Auges werden empfohlen, müssen aber mit grosser Vorsicht gehandhabt werden, und scheinen mir im Allgemeinen entbehrlich zu sein; aber durch innerlichen Gebrauch von Quecksilbermitteln vermag man schwere Augenentzündungen dieser Art nur selten zur Heilung zu bringen.

12) Hydrarg. bichlorat. 0,1
Aq. dest. 10,0 [2]).

Hiervon wird jeden zweiten Tag eine halbe bis ganze Spritze voll (0,005 bis 0,01 Sublimat) unter die Haut des Gesässes, bezw. in die dicken Gesässmuskeln, eingespritzt.

R. Ung. einer.
Ung. rosat. $\overset{\frown}{aa}$ 5,0
S. Abends eine Bohne gross in die Stirn zu reiben.

Vor Jodkali- und Veratrin-Stirn (oder Lid-)salben ist zu warnen, da sie Reizung verursachen.

Statt der balsamischen Stirneinreibungen (Mixt. oleosobals. 10, Spir. Lavandul. 150) bediene man sich des Kölnischen Wassers.

1) Man lässt das Salz in einer Flasche voll Selterswasser mit Patentverschluss auflösen und die Lösung als Getränk verbrauchen. — Einträufelung einer Jodkalilösung (0,1:10,0) in den Bindehautsack wirkt nicht gegen Glaskörpertrübung, nicht ein Mal gegen Hornhautflecke.

2) Man kann auch Natrii chlorati 1,0 hinzufügen, oder die Quecksilbercyanidlösung (Hydrarg. cyanat. 0,1: Aq. dest. 10,0) anwenden. — Die grösste Einzelgabe des Sublimat ist 0,02.

Zur Einspritzung unter die Bindehaut wählt man die Lösung des Sublimat von 1 : 5000 [0,02 : 100.0] und verabreicht davon 2—4 Tropfen: die Einzelgabe ist also ungefähr $^1/_{20}$ Milligramm (0,00005); 3—4 Einspritzungen sollen genügen. (Snellen, Darier.).

Man kann sich dazu einer (zweiprocentigen) Cocaïnlösung in Sublimataugenwasser (1 : 5000) bedienen, wie ich sie später in der Vorschrift 20 a angeben werde.

13) Hydrargyri bichlorati 0,15
Mass. pilul. q. s. ut f. pilul. Nr. XXX.
S. Täglich 2—3 Pillen zu nehmen.

14) Hydrargyri bijodati 0,15
Kalii jodati 1,5
Mass. pil. q. s. ut f. pilul. Nr. XXX.
S. Wie bei 13.

15) Hydrarg. bijodat. 0,25
Kalii jodati 2,5
Aq. dest. 10,0
Syrup. simpl. 50,0 .
S. Täglich 1 Theelöffel voll zu nehmen. (A. v. Graefe.)

Quecksilberpräparate werden als auflösende Mittel gegeben, auch wenn der syphilitische Ursprung der hartnäckigen Augenentzündung nicht nachgewiesen werden kann, — aus Verlegenheit, und doch vielfach mit Erfolg, wie seit Jahrhunderten bekannt ist.

Zur örtlichen Einreibung, behufs Auflösung von Hornhautflecken und der sogenannten parenchymatösen Hornhautentzündung, wenn stärkere Reizung fehlt, dient die folgende Salbe:

16) Ung. Hydrarg. einer. 1,0
Vaselini flav. 2,0
Lanolini 1,0.

Von der weichen Salbe wird etwas auf die Hornhaut gestrichen und entweder mit der Fingerkuppe oder mittelst der Lider des Kranken eingerieben, 1—2 Minuten lang, jeden Tag, einige Wochen hindurch.[1])

Aber die akute Mercuralisation (zweistündlich eine Einreibung von zwei Gramm grauer Salbe, bis zum Beginn des Speichelflusses, nach 24 oder 36 Stunden,) hat ihren früheren Ruf eingebüsst; sie heilt weder die Vereiterung des Auges nach Star-Operation, die ja auf Wundvergiftung beruht, noch den gefährlichen Augentripper, der

1) Mitvalsky, C. Bl. f. A. 1892. Febr.

vom Eindringen des Tripperpilzes in den Bindehautsack abhängt, noch die stürmischen Ausschwitzungen der Regenbogenhaut, welche die ganze Vorderkammer füllen. Bei den letzteren ist weit nützlicher das salicylsaure Natron (zwei bis fünf Gramm auf einmal), das eine, wenngleich nicht specifische, so doch äusserst heilsame Wirkung gegen die sogenannten rheumatischen Augenentzündungen entfaltet.

B) Wenn Sumpfgift[a] gelegentlich Hornhautentzündung oder durch das Mittelglied der allgemeinen Blutleere[b] Entzündung des Sehnerven oder der Netzhaut bewirkt hat; so ist den sonstigen Heilmitteln jedenfalls das eigenartig auf die Krankheitserreger[1]) des Wechselfiebers wirkende Chinin[2]) hinzuzufügen.

a) Malaria.
b) Anaemie.

C) R. Koch[3]) hat gelehrt, durch subcutane Einspritzung des aus der Reincultur von Tuberkelbacillen gewonnenen Tuberculin (Anfangsgabe $^1/_{10}$ Milligramm der concentrirten Flüssigkeit,) die Tuberculose der verschiedensten Theile des Menschen eigenartig zu beeinflussen: es erfolgt Entzündung und Abtödtung des tuberculösen Gewebes, während die Bacillen nicht getödtet werden. Sichere Heilwirkungen bei Tuberculose im Innern oder an der Oberfläche des menschlichen Augapfels sind bisher auf diesem Wege nicht erzielt worden.

Weitere Prüfungen scheinen nothwendig. Die Sache ist nicht zu Ende, sondern erst am Anfang. Auch die Lepra des Auges scheint durch Tuberculin wirksam beeinflusst zu werden.

V. Die Betäubungsmittel.[4])

Fürwahr, nicht die unwichtigste Aufgabe des Arztes ist Beseitigung des Schmerzes: hierdurch wird gleichzeitig die Heilung

---

1) Plasmodium malariae. (Wird zu den Amoeben, Protisten, niedersten Thieren gerechnet.)

2) Einzelgabe des Chininsulfats 0.5 bis 1,0. — In übergrosser Gabe (fünf bis zehn Gramm auf einmal, oder an einem Tage,) macht Chinin, durch Zusammenziehung der Netzhautblutgefässe, Sehstörung, selbst vollständige doppelseitige Erblindung, die aber nach einigen Wochen wieder schwindet und nach einigen Monaten der nahezu völligen Heilung oder erheblichen Besserung Platz macht.

3) Deutsche med. W. 1890 Nr. 49a. Vgl. R. Koch's Heilmittel gegen Tuberculose, Berlin und Leipzig 1890, elf Hefte; u. C. Bl. f. A. 1891 S. 12, 42, 99, 161, 168, 193. — Kritiklose Schnellveröffentlichungen von einzelnen Augenärzten haben nur geschadet. Heilung von Augentuberculose bei Menschen durch Tuberculineinspritzung kenne ich nicht. Die künstliche Impftuberculose des Kaninchens kann durch frühzeitig begonnene, regelmässig mit steigender Gabe festgesetzte Tuberculineinspritzung unter die Haut gebessert, ja geheilt werden. (Doenitz, Deutsche med. W. 1891 N. 47).

4) *Ναρκωτικά*, von *νάρκη*, die Betäubung. (Galen. X, 817, — gegen Augenschmerz.)

befördert. Von den Mitteln zur allgemeinen Betäubung und namentlich von der Bedeutung der Chloroform-Einathmungen für einzelne Operationen und manche Verletzungen des Auges werden wir im folgenden (II.) Abschnitt zu handeln haben. Eine volle Gabe Chloralhydrat oder Morphium nach einer wichtigen Augenoperation oder schweren Augenverletzung ist ein wesentliches Beförderungsmittel der glatten Wundheilung.

17) Chlorali hydrati 3,0
Aq. dest.
Syr. simpl.
Muc. gumm. mimos. $\overset{\frown}{aa}$ 10,0.
S. Schlaftrunk. [Für einen Erwachsenen. — Zwei Dritttheile bis drei Viertheile des Schlaftrunkes werden gegeben und der Rest, wenn nöthig, $^1/_2$ Stunde später]. [1])

18) Morphini hydrochlorici 0,01 bis 0,015
Sacchari 1,0.
S. Schlafpulver (Für einen Erwachsenen. [2])

Eine Einspritzung von Morphium unter die Haut beseitigt den Entzündungsschmerz, verschafft dem Kranken eine ruhige Nacht, und trägt wesentlich zur Besserung des Zustandes bei.

19) Morphini hydrochlorici 0,05
Aq. dest. (rec. coct.) 5,0.
Eine Spritze voll (d. h. 1 Gramm der Lösung; 0,01 des Salzes.) genügt für einen Erwachsenen.

Für Kinder sind Chloralhydrat [3]) und Morphium weniger geeignet und auch eher zu entbehren; denn die Kinder schlafen von selber, auch bei Schmerz und Kummer.

Dies sind die wirklichen Schlafmittel: [4]) von den neueren sind manche wohl eher Mittel gegen Schlaflosigkeit nervenkranker oder aufgeregter Menschen.

Officinell sind bei uns:

a) Paraldehydum. (Wirksame Gabe 2.5 Gramm, grösste Einzelgabe 5,0.)

1) Grösste Einzelgabe 3,0; grösste Tagesgabe 6,0 Gramm.

2) Grösste Einzelgabe 0,03; grösste Tagesgabe 0,1.

3) Für Kinder unter vier Jahren, die es weit besser als das Morphium vertragen, ist Chloralhydrat 0,05 bis 0,3 ein Schlafmittel; für grössere Kinder bis zu 1,0.

4) *Ὑπνωτικά* von *ὕπνος* Schlaf. (Schon bei Aristoteles.)

b) Amylenum hydratum. (Wirksame Gabe 2,0: grösste Einzelgabe 4,0.)

c) Sulfonalum. (Wirksame Gabe 2,0; grösste Einzelgabe 4,0).

Namentlich von dem letzteren mache ich öfters Gebrauch, um Kranken mit langwieriger Augenentzündung den so ersehnten Schlaf zu verschaffen. Zwei Kapseln zu je einem Gramm werden einige Stunden vor der Schlafzeit verabreicht. Das Mittel wird auch bei länger dauerndem Gebrauch gut vertragen.

Unter den örtlichen Betäubungsmitteln steht obenan das Cocaïn,[1]) in der Augenheilkunde das wirkliche Mittel wider den Schmerz.[2])

20)	Cocaïni hydrochlorici	0,1
	Aq. dest. (rec. coct.)	5,0.
20 a)	Coc. hydr.	0,1
	Aq. Sublimat. [1:5000]	5,0.

Träufelt man von dieser Lösung einige Tropfen über die Horn- und Bindehaut, so wird in wenigen (ein bis zwei) Minuten die Angapfeloberfläche vollkommen unempfindlich und bleibt so für die Dauer von etlichen (5—10) Minuten. Aber auf die Empfindungsnerven der Iris wirkt das Mittel nicht, obwohl es die Pupille merklich erweitert. Ist die Angapfelbindehaut erheblich geröthet und geschwollen, so fehlt die gewünschte Wirkung oder bleibt unvollständig.

---

1) Die Cocapflanze, ein Strauch von 4—6 Fuss Höhe (Erythroxylon Coca) gedeiht in Peru und Bolivia. Ihre Blätter dienen zehn Millionen Menschen als unentbehrliches Genussmittel, besonders gegen Ermüdung und Hunger, seit der Zeit der Inka's. Das Alkaloïd Cocaïn ist 1860 von Niemann, einem Schüler Wöhler's, entdeckt. ($C_{17}H_{21}NO_4$). Nach v. Anrep's Thierversuchen (1880) hat das Cocaïn in kleinen Gaben eine reizende, in grösseren eine lähmende Wirkung. Bei der Einspritzung unter die Haut ist die tödtliche Gabe 0,02 Gramm auf das Kilo, bei der Katze. Schroff fand 1862, dass durch örtliche Anwendung des Cocaïn die Zungenspitze unempfindlich wird. Einige Anwendungen auf den Menschen waren schon gemacht worden, als C. Koller im Sept. 1884 auf dem Heidelberger Congress die überraschende Mittheilung machte, dass Einträufelung einiger Tropfen von der zweiprozentigen Lösung des Cocaïns in den Bindehautsack den Angapfel vollkommen unempfindlich mache. Es ist dies, auf unserem Gebiet, eine der grössten Entdeckungen aus den letzten zehn Jahren. (Vgl. den Sitzungsbericht des Heidelberger Ophthalmologen-Congresses, ferner Koller's Mittheilung in der Wiener med. W., 25. Oct. 1884. Ueber Cocaïn von Freud, Wien 1885. Cocaïne, by Knapp, Wiesbaden 1885. Anaesthesie bei Augenop. v. Hirschberg, Berl. Kl. W. 1884 und die zahlreichen Mittheilungen im Centralbl. f. A. 1884/85.) — Es giebt noch andre Stoffe, deren Einträufelung ähnlich wirkt; doch kommt keines an Brauchbarkeit dem Cocaïn gleich.

2) Ἀνώδυνον, von ὀδύνη Schmerz, schon bei Dioscorides und Galen.

Auch der angehende Arzt kann nach Cocaïneinträuflung, ohne vom Kranken gestört zu werden, die kleinen Fremdkörper von der Hornhautoberfläche mit der gekrümmten Star-Nadel entfernen. Bei frischer Augenverletzung erleichtert Cocaïn die mitunter schwierige und selbst gefährliche Untersuchung. Aber geradezu köstlich ist das zum Glück nicht mehr so kostspielige Mittel für die wichtigeren Augenoperationen, namentlich zur Ausziehung des Greisen-Stars, bei welcher die Chloroformbetäubung immerhin einige Schattenseiten darbietet.

Um vollständige Unempfindlichkeit der Augapfeloberfläche zu erzielen, träufelt man den Inhalt des Tropfgläschens langsam über die ganze Vorderfläche des Augapfels, in den unteren Bindehautsack; lässt danach das Auge schliessen, um Vertrocknung der Hornhautdeckzellen zu vermeiden: und wiederholt diese Einträuflung noch zweimal, nach ein bis zwei Minuten.

Das Cocaïn bewirkt eine gewisse Blutleere der Bindehaut, die ja für unsere Operationen sehr angenehm ist; ferner stärkeres Klaffen der Lidspalte, das gleichfalls erwünscht ist; und endlich eine mässige Erweiterung der Pupille, die aber auf Lichteinfall nachgiebt, so dass niemals bei der Star-Ausziehung eine störende Wirkung eintritt. [1])

Ueberhaupt habe ich bei tausendfacher Anwendung des Cocaïn noch nie eine unangenehme Nebenwirkung beobachtet. Auch nicht bei der Einspritzung von ein bis zwei Gramm der zweiprocentigen Lösung. also von 0,02 bis 0,04 des Alkaloïdsalzes, unter die Lidhaut. oder unter die Bindehaut eines Erwachsenen, um schmerzlos Lidoperationen oder sogar die Ausschälung des Augapfels vorzunehmen. [2])

Beschrieben sind Ohnmacht und Pulsschwäche, aber ich habe sie nie gesehen. [3]) Beschrieben ist Hornhautzerstörung nach Star-Schnitt: aber dieselbe ward nicht von der Cocaïnlösung bedingt, sondern von deren Verunreinigungen (Eiterpilzen). Beschrieben ist dauernde Hornhauttrübung nach Star-Schnitt; aber nicht von Cocaïn selber wird diese verursacht, sondern von der Beigabe, nämlich von dem verschwenderischen Gebrauch der Sublimatspülung. Das habe ich von vornherein behauptet, das wird jetzt auch von den Gegnern zugestanden.

---

1) Man erklärt (nach Thierversuchen) die Wirkung des Cocaïn durch örtliche Lähmung der Endigungen des fünften Gehirnnerven und durch Reizung derjenigen des sympathischen Nerven.

2) In neuester Zeit (1891) hat man sogar den Bauchschnitt und andere grössere Operationen unter Cocaïneinspritzung verrichtet.

3) Oder doch nur bei sehr ängstlichen und nervösen Menschen, ausnahmsweise, bei denen man gelegentlich auch ohne Cocaïn nach Spaltung des Hagelkorns oder des Thränenkanälchens einen Ohnmachtsanfall erlebt.

Es soll sogar vorgekommen sein, dass eine übergrosse Gabe [1]) den Kranken getödtet hat; und es ist thatsächlich richtig, dass dauernder Missbrauch des Cocaïns — ebenso wie der des Morphins — eine schwere Nervenkrankheit, auch mit Sehstörung, nach sich zieht.

Alles dies erwähne ich, um zum Schluss zu betonen, dass Cocaïn bei richtiger Anwendung zu den segensreichsten Mitteln gehört.

Bei entzündlicher Reizung des Auges (besonders der Horn- und Regenbogenhaut) bewirkt Cocaïneinträuflung wohl sofort Linderung des Schmerzes, aber nicht für längere Zeit. Weit nachhaltiger vermindert man Schmerz und Reizung durch Einträuflung einer Lösung von Cocaïn und Atropin; diese gehört auch zu den kräftigsten Pupillenerweiterern, [2]) überhaupt zu unseren besten und wirksamsten Heilmitteln.

21) Atrop. sulf. neutr. 0,05
Cocaïn. hydrochlor. 0,1
Aq. dest. (rec. coct.) 5,0.
S. Augentropfwasser.

Erweiterung der Pupille bewirken, bei örtlicher wie innerlicher Anwendung, einige giftige Alkaloïde, die hauptsächlich in drei bei uns wild wachsenden Solaneen vorkommen. Die einhalb- bis einprocentigen Lösungen von solchen Salzen dieser Alkaloïde, welche krystallisirt, also in zuverlässig reinem Zustand, zu erhalten sind, benutzen wir zur Einträuflung in den Bindehautsack, um künstliche Pupillenerweiterung zu erzielen.

Aus der Wurzel der Tollkirsche, Atropa Belladonna, [3]) wird das Hauptmittel dieser Art, das Atropin, gewonnen, welches schon 1813 von Mein entdeckt ist. [4])

---

1) Grösste Einzelgabe 0,05; grösste Tagesgabe 0,15. Zwei Spritzen voll unserer zweiprozentigen Lösung enthalten erst 0,04. — Freud meint, dass es für den Menschen eine tödtliche Gabe kaum gebe. — Nach dem Thierversuch mit der Katze sollte man Einspritzung von einem Gramm des Cocaïnsalzes unter die Haut des Erwachsenen für lebensgefährlich ansehen.

2) Mydriatica. *Μυδρίασις*, Pupillenerweiterung, wahrscheinlich von Aret. Cappad. (acut. I. 88) eingeführt; Ableitung unbekannt, vielleicht von *μύδρος* das glühende Eisen zum Blenden.

3) Atropa ist abzuleiten von *ἄτροπος*, 2, unerbittlich; Belladonna ital. = schöne Dame, weil die Schauspielerinnen durch Pupillenerweiterung glanzvolle Augen sich zu verschaffen liebten, wie — schon die alten Griechinnen durch Hyoscyamus. (Galen, XII. 740.)

4) Durch Einwirkung von Barytwasser spaltet sich
Atropin, unter Wasseraufnahme, in Tropasäure und Tropin
$C_{17}H_{23}NO_3 + H_4O = C_9H_{10}O_3 + C_8H_{15}NO$.
Vgl. das Handwörterbuch der Chemie von Ladenburg I. 213 fgd., 1882.

22) Atropini sulf. neutr. 0,05
Aq. dest. (rec. coct.) 10,0.
D. Mit Tropfglas.
S. Zur Einträuflung.

22 a) Atrop. sulf. neutr. 0,05
Aq. dest. (rec. coct.) 5,0.

Ein Tropfen der einprocentigen Lösung des schwefelsauren Atropin in den Bindehautsack geträufelt,[1]) verursacht Lähmung des Schliessmuskels der Pupille und des Accommodationsmuskels, bewirkt starke Erweiterung der Pupille.[2]) Darum ist Einträuflung der Atropinsulfatlösung das Hauptmittel gegen Regenbogenhautentzündung. Denn diese Krankheit macht Verengerung der Pupille, Verwachsung ihres Randes mit der vorderen Linsenkapsel, Verschluss des Sehlochs. Die künstliche Erweiterung der Pupille durch Atropineinträuflung verringert die Breite der Regenbogenhaut, presst Blut aus ihren Gefässen, löst Verwachsungen des Pupillenrandes und hindert den Verschluss des Sehlochs.

Die klinische Erfahrung zeigt den grossen Nutzen des Atropins bei der Behandlung der Regenbogenhautentzündung.

Aber dann darf man einem neuem Lehrbuch nicht glauben, dass selbst in den schwersten Fällen von Regenbogenhautentzündung nicht öfter als drei bis vier Mal am Tage die einprocentige Lösung einzuträufeln sei.

Ich lasse bei frischer, akuter Regenbogenhautentzündung am ersten Tag der Behandlung ein- bis zweistündlich einträufeln. Mitunter gelingt es dadurch sofort die Pupille maximal weit und regelmässig rund zu

---

1) Gelegentlich erfolgt auch bei innerlicher Verabreichung der Atropin- (bezw. Belladonna-) Präparate Pupillenerweiterung, jedenfalls bei der Vergiftung. Aber, wenn die innerliche Gabe sehr klein war, eher durch zufälliges Einstreichen des Mittels in's Auge. In letzterer Weise allein wirken die beliebten, aber an sich unwirksamen Stirnsalben mit Belladonna.

R. Hydrargyri amidato-bichlorati
Extr. Belladonn. $\overline{aa}$ 0,5
Ung. rosat. 5,0.

2) Donders fand nach Einträufelung von Atropinsulfatlösung (1 : 120), dass nach fünfzehn Minuten die Pupille des gesunden Auges anfängt, sich zu erweitern; nach dreissig Minuten die Erweiterung vollständig ist; nach hundert Minuten auch die Accommodationslähmung; nach drei Tagen beginnen die Erscheinungen zurückzugehen; erst nach zwölf Tagen hatte die Pupille ihre frühere Enge erreicht. Die Lösung von 1 : 9600 ruft in sechzig Minuten Pupillenerweiterung hervor, die am folgenden Tage wieder geschwunden ist.

bekommen. Gegen Rückfälle schützt man sich durch täglich zwei- bis dreistündliche Einträufluug, bis die entzündlichen Erscheinungen geschwunden sind; dann wird, unter ein- bis zweimaliger Einträufluug am Tage, die Pupille noch einige Wochen hindurch weit erhalten. — Bei grösserer Hartnäckigkeit der entzündlichen Pupillenverengerung wird noch dazu Nachts ein bis zwei Mal eingeträufelt, da die während der Nacht fortbestehende Entzündung das Tagewerk des Arztes wieder auflöst, — wie das Gewebe der Penelope. Es wird ferner, vom Arzt selber, am Tage binnen ein bis zwei Stunden fünf bis sechs Mal hintereinander eingeträufelt; und den reichlichen Atropineinträufluugen noch ein Mal täglich eine stärker wirkende Hyoscin-Einträuflung hinzugefügt.

So wird man mit der gewöhnlichen (serösen und exsudativen) Regenbogenhautentzündung, mag dieselbe von Syphilis oder von rheumatischer Erkrankung abhängen, unter passender Allgemeinbehandlung, fast immer zum Ziele kommen.

Schwierig sind die akuteren Fälle von ausgedehnter Hornhaut- und Regenbogenhautentzündung in Folge von angeborener Syphilis: die erkrankte Hornhaut hindert das Eindringen der Atropinlösung in die Vorderkammer. Noch schwieriger sind die breiten gummösen Verwachsungen zwischen Regenbogenhaut und Vorderkapsel der Linse. Auch diese habe ich wiederholentlich durch das oben geschilderte Verfahren vollkommen beseitigt, so dass die Regenbogenhaut ganz normal aus der schweren Krankheit hervorging. Am schwierigsten ist die sogenannte croupöse Regenbogenhautentzündung. Ist die ganze Regenbogenhaut einschliesslich des Sehlochs von einer dicken Faserstoff-Ausschwitzung bedeckt, ja die ganze Vorderkammer damit angefüllt: so scheint jede Wirkung der Atropineinträuflung fast ausgeschlossen. Trotzdem empfiehlt es sich, zwei bis drei Mal täglich einzuträufeln, damit die Pupillenerweiterung sofort einsetzen kann, wenn sie möglich wird, d. h. wenn die in Auflösung begriffene Ausschwitzung vom Rande der Pupille sich zu lösen beginnt.

Bei chronischer wiederkehrender Regenbogenhautentzündung mit alten, von der akuten Entzündung zurückgebliebenen Verwachsungen des Pupillenrandes ist gleichfalls Atropineinträuflung angezeigt. Nur muss man das Unmögliche nicht verlangen und zufrieden sein, wenn die ständigen (bindegewebigen) Verwachsungen etwas gedehnt und die Ausbildung neuer verhütet wird.

Vollends sei man vorsichtig bei ganz oder nahezu kreisförmiger, alter Verwachsung des Pupillenrandes, der durch einen bindegewebigen Streifen mit der Vorderkapsel der Linse verlöthet ist. Hier wird die

Atropineinträuflung nicht vertragen, und kann, namentlich bei älteren Menschen, einen Anfall von Drucksteigerung[a] auslösen.

[a] Glaucoma.

Die Pupille des Neugeborenen und des Säuglings ist eng und durch Atropineinträuflung kaum über vier Mm. zu erweitern: die Pupille des Greisen öfters steif und durch Atropin nicht über fünf bis sechs Mm. zu erweitern.

Bei Säuglingen und Greisen liefert die Atropineinträuflung weniger befriedigende Ergebnisse, als bei Kindern und Erwachsenen. Bei kleinen Kindern ist die Neigung zu Regenbogenhautentzündung gering, sehr gross bei älteren Leuten. Regenbogenhautentzündung (namentlich auch die syphilitische) verläuft bei Greisen weit schlimmer als in der Blüthe des Lebens.

Im kindlichen, jugendlichen und mittleren Lebensalter antwortet die normale Pupille, der eine Breite von drei bis vier Mm. bei der gewöhnlichen Tagesbeleuchtung zukommt, auf die Einträuflung eines einzigen Tropfens der $^1/_2$ bis 1 % Atropinlösung mit allerstärkster Erweiterung, auf acht und selbst neun Mm, so dass die Regenbogenhaut auf einen ganz schmalen Saum sich zusammenzieht.

[b] Sphincter pupillae. (Nerv. oculomot.)

Bei vollständiger Lähmung des Schliessmuskels[b] ist die Pupille gegen sechs bis sieben Mm. breit und wird durch Atropineinträuflung noch weiter, weshalb man dem Atropin nicht blos eine Lähmung der Endigungen[1]) des dritten Hirnnerven,[c] sondern auch eine Reizung des Grenzstranges[d] zuzuschreiben pflegt.[2])

[c] Oculomot.

[d] Sympathicus.

[e] Trigeminus.

Durch Atropineinträuflung werden auch die Nerven[e]-Endigungen an der Oberfläche des Augapfels, besonders in der Hornhaut, unempfindlicher. Atropin ist und bleibt ein Hauptmittel bei Entzündung der Hornhaut.

Atropin verringert den pathologischen Schmerz, nicht die normale Empfindlichkeit der Hornhaut. Bei stärkerer Entzündung der letzteren mit lebhaftem Schmerz und Reiz wirkt am sichersten die Einträuflung von Atropin-Cocaïn-Lösung.

---

1) Wird Atropinlösung in den Bindehautsack geträufelt, so dringt das Mittel durch die Hornhaut in das Kammerwasser und in die Regenbogenhaut ein. Entzieht man dem so atropinisirten Auge einer Katze, mit der nöthigen Vorsicht, das Kammerwasser, und träufelt dasselbe in das Auge einer andern Katze; so tritt Erweiterung der Pupille ein: es war also Atropin im Kammerwasser enthalten.

Katzen sind zu solchen Versuchen sehr geeignet, da bei ihnen die Pupille im verengten Zustande einen senkrechten Spalt, im erweiterten eine Kreisfläche darstellt.

2) Auch nach Thierversuchen, mit Durchschneidung des Oculomotorius und des Sympathicus.

Atropin ist ein segensreiches Mittel, wird aber in der gewöhnlichen Praxis zu selten und in zu geringer Gabe angewendet.[1])

Die Aerzte fürchten Atropinvergiftung und Pupillenlähmung: beides ist unbegründet.

I. Atropinvergiftung habe ich nach der Einträufluug in den Bindehautsack trotz der vieltausendfachen Anwendung noch nicht ein einziges Mal beobachtet.[2]) Natürlich habe ich gelegentlich Allgemeinwirkungen von der örtlichen Anwendung des Atropin gesehen.

A) Erwachsene klagen manchmal über Trockenheit im Halse. Dann ist die Einträufluug seltner und mit grösster Vorsicht zu machen. B) Kleine Kinder, denen man, wegen scrofulöser Hornhautentzündung zwei bis drei Mal täglich einen Tropfen der $^1/_2$ % Atropinlösung einträufeln lässt, schlafen bald nach der Einträufluug. Das ist eher ein Vortheil!

Immer muss man den Mund schützen, damit der herabfliessende Tropfen nicht verschluckt werde: man hält während der Einträufluug ein Wattebäuschchen gegen das sanft abgezogene Unterlid. (Der untere Thränenpunkt taucht dann nicht ein in die Atropinlösung. — Dagegen ist es überflüssig, das untere Thränenröhrchen durch eine Klammer, während der Einträufluug, zusammenzupressen).

Gelegentlich verwendet man das Mittel auch in Salbenform, — nicht blos um Allgemeinwirkungen zu vermeiden, sondern auch um die örtlichen sicher zu erzielen. Manche Kinder pressen die Lider so heftig zusammen, dass von der Lösung nichts in dem Bindehautsack bleibt; einzelne Erwachsene benehmen sich wie diese Kinder: dann empfiehlt es sich, mit dem reinen Glas-Stab ein wenig von der dickflüssigen Salbe an die Innenfläche des Unterlids zu streichen.

23) Atrop. sulf. neutr. 0,05
Aq. dest. (recens coct.) q. s. ad solut.
Vaselini puriss. 5,0.

II. Wenn der angehende Arzt acht bis zehn Tage nach der Einträufluug noch deutliche Erweiterung der Pupille beobachtet; so fürchtet er ein Zurückbleiben der Lähmung, vielleicht für immer. Auch diese

1) Oefters auch unrichtig, z. B. bei Bindehautcatarrh, bei Fremdkörpern in der Hornhaut. Die Kranken kommen zu uns und klagen über die Beschwerden der Pupillenerweiterung, d. h. über Blendung und Unfähigkeit, feine Schrift zu lesen.

2) Ein Engländer hatte in v. Graefe's Klinik die Atropinlösung — verschluckt. Ich fand ihn tobsüchtig, mit einer Pulszahl von 150; eine Einspritzung von Morphium unter die Haut und Reizmittel bewirkten bald Besserung.

Befürchtung ist grundlos. Die natürliche Nachwirkung der Atropineinträuflung dauert bis zu zwei Wochen.

Sehr viel wird gesprochen und geschrieben über Unverträglichkeit des Atropin und über die Nothwendigkeit von Ersatzmitteln. Das meiste beruht auf Irrthum.

Zunächst muss die Atropinlösung chemisch rein und säurefrei sein; sodann muss die Lösung pilzfrei sein und gehalten werden. Schon 1867 habe ich in den gewöhnlichen Augenwässern und in Atropinlösungen Pilze gefunden. Schimmelbusch und Hohl fanden neuerdings in der gewöhnlichen 1 % Lösung von Atropin und Cocaïn stets zahlreiche Pilze. Ferrari stellte fest, dass Eiterpilze[a] in destillirtem Wasser, 1 % Lösung von Atropin und Morphin nicht absterben, sondern sich sogar vermehren.

a) Staphylococcus.

Die Pilze kommen hinein in die Alkaloïdsalzlösung entweder beim Bereiten der Lösung, oder aus der Luft während des Oeffnens der Flasche oder aus dem Bindehautschleim,[1]) namentlich, wenn man Pinsel benutzt.

Ist zur Nachbehandlung des Star-Schnitts die Lösung gekocht, bezw. das verschlossene Fläschchen in dem Kupferofen eine halbe Stunde lang dem strömenden Wasserdampf ausgesetzt; so wird man niemals Vereiterung des Auges von der Atropineinträuflung erleben.[2]) Die Atropinreizung,[3]) ein Catarrh der Lidränder mit dichtgedrängter Aussaat feiner Wärzchen (Granulationen) in der ganzen Bindehaut, oben wie unten, oder unten allein, entsteht ungemein häufig, wenn die Kranken ohne Vorsicht jeden Tag, Wochen lang, einträufeln oder einpinseln; jede neue Einträuflung bedingt dann heftiges Brennen und neue Reizung mit Thränen und Anschwellung.

Die Kranken leiden oft genug gar nicht mehr an der ursprünglichen Entzündung,[b]) sondern an ihrem Arzt: und werden geheilt, wenn man das Atropin aussetzt (bezw. erheblich verringert,) und die zusammenziehenden Augenwässer anwendet. (Kühle Chlorwasser-Umschläge, Einpinselung von schwacher Bleiacetat- oder Silbernitrat-Lösung.)

b) z. B. der Regenbogenhaut.

Diese Atropinreizung lässt sich vollständig vermeiden, wenn man den alten Schlendrian aufgiebt, und bei der Einträuflung das Einbringen von Pilzen[4]) in den Bindehautsack voll-

1) Franke, A. f. O. XXX, 2.

2) Atropin-Gelatine-Plättchen — zu meiden, namentlich bei Augenoperationen.

3) A. f. O. I, 2, 242; X, 2, 200. — A. v. Graefe beschrieb den Zustand allerdings als Atropinsättigung der Bindehaut.

4) Durch Pilze wird die Reizung verursacht, nicht durch Atropin. Sorglose Einträuflung des dem Atropin geradezu entgegengesetzten Mittels, des Physostig-

ständig ausschliesst. Seit Jahren habe ich in meiner Anstalt nicht einen einzigen Fall von Atropinreizung beobachtet, obwohl ich[a] gelegentlich fünf Monate lang täglich fünf Mal Atropin einzuträufeln gezwungen war.

[a] z. B. bei sympathischer Augenentzündung

Ich verwende nur von mir selber sterilisirte Lösungen, auch mit leichtem Sublimatzusatz, für jeden Kranken an jedem Tag ein frisches Fläschchen. Der praktische Arzt verschreibe nur wenig Atropin auf einmal, lasse frisch gekochtes Wasser[b] zur Lösung verwenden; bezw. bei seltner Einträuflung, Sublimat-Augenwasser. Auch die Fläschchen selber sind auszukochen; man halte sie gut verschlossen und erneuere die Lösung jeden zweiten, dritten Tag, — jedenfalls, ehe die alte flockig geworden. Das Tropfgläschen liege stets unter starker Sublimatlösung (1:1000 oder 1:2000); — oder, wenn man dies dem Kranken in seiner Häuslichkeit nicht anvertrauen kann, unter täglich frisch gekochtem Wasser, und werde selber täglich oder jeden zweiten Tag ausgekocht. [1])

[b] destillirte

Atropinreizung ist wohl zu unterscheiden von der überaus seltnen Atropinabneigung:[c] schon die erste Atropineinträuflung in ein nicht entzündetes Auge soll heftige Entzündung der Bindehaut[2]) verursachen. Seit vielen Jahren ist mir kein einziger Fall der Art vorgekommen; ich zweifle fast an dem Vorhandensein dieses Zustands.

[c] Idiosyncras

Will man mit dem Mittel wechseln, so ist zu überlegen, ob man nur ein anderes wünscht oder — ein stärkeres. In ersterer Hinsicht wiegt man sich öfters in Einbildungen. So ist bei Atropinreizung sogar wieder von neuem das Mittel früherer Zeit, der eingedickte Saft der Tollkirsche, empfohlen worden.

24) Extract. Belladonn. 0,5
Aq. dest. 25,0. — Bis filtra!

---

min, verursacht ganz ähnliche Bindehautgranulationen, nur etwas seltener, weil das letztere Mittel nicht in so vielen Fällen, nicht oft an einem Tage und nur in einzelnen Fällen so lange Zeit hindurch eingeträufelt wird, wie Atropin.

1) Die Gummikappe verträgt das Kochen nicht gut. Doch sind die Tropfgläser billig genug, dass man von Zeit zu Zeit ein neues beschaffen kann. Auch Glasstäbchen zur Einträuflung lassen sich gut rein halten, nicht so leicht die Pinsel. Tropf-Fläschchen mit eingeschliffenem Stöpsel, der nur in bestimmter Stellung den Tropfen austreten lässt, sind auch zuverlässig, aber für Nichtärzte etwas schwerer zu handhaben; sie sind brauchbar bei seltner Einträuflung.

2) Etwas anderes ist Entzündung der inneren Theile mit Drucksteigerung (Glaucoma acutum), nach Atropineinträuflung: davon wird sogleich die Rede sein.

Aber trotz des Ausrufungszeichens wird es nicht gelingen, bei der üblichen Anwendung die braune Lösung klar zu erhalten.

Wer sich damit trösten wollte, dass ausser dem Atropin immer noch drei Alkaloïde: 1) das Daturin[1]), 2) das Hyoscyamin,[2]) 3) das Duboïsin[3]) zur Auswahl und Verfügung ständen; würde durch Ladenburg's Untersuchungen erheblich enttäuscht werden: Atropin ist identisch mit Daturin, Hyoscyamin mit Duboïsin; alle die vier von den Aerzten zur Pupillenerweiterung verschriebenen Alkaloïde sind isomer. ($C_{17}H_{23}NO_3$).[4])

Alles, was Atropin nicht leistet, darf man von den drei andern nicht erwarten, — nur einen höheren Preis.

Wer wirklich ein stärkeres Mittel zur Pupillenerweiterung wünscht, muss Hyoscin wählen und die nach der Einträufluug vorkommenden Allgemeinwirkungen mit in den Kauf nehmen.

25) Hyoscini hydrojod.[5]) 0,05
Aq. dest. (rec. coct.) 5,0 .

25a) Hyoscin. hydrobromici 0.05
Aq. dest. q. s. ad. solut.
Vaselini puriss. 5,0 .

1) Von Datura Stramonium, Stechapfel. (Solan.) Das Wort Datura ist arabisch, tatôrah = Röhrchen. Stramonium ist ein Wort der Neuzeit.

2) Von Hyoscyamus niger, Bilsenkraut. (Solan.) Ὑοσκύαμος heisst wörtlich Saubohne; die Alten benutzten es schon zur Pupillenerweiterung. (Dioscor. I. 560, Galen, XII, 720.)

3) Von einem australischen Baum, Duboïsia myoporoïdes. (Scrofularin.) Duboïsia heisst er nach Hrn. Dubois; und myo-poro-ïdes, weil die Blätter durchsichtige Punkte haben, wie von Mäusen angefressen. (*Μῦς, πόρος, εἶδος.*)

4) Atropin kommt vor in Atropa B. und Datura Str.: Hyoscyamin in denselben Pflanzen und ausserdem in Hyoscyamus n. und Duboïsia m. Beide Alkaloïde lassen sich in Tropasäure und Tropin spalten, während das dritte Alkaloïd Hyoscin, welches neben dem zweiten in Hyoscyamus vorkommt, bei der Spaltung Tropasäure und das (dem Tropin isomere) Pseudotropin liefert. Es giebt also hauptsächlich vier Pflanzen (drei Solaneen, eine Scrof.), und darin drei isomere Alkaloïde mit pupillenerweiternder Wirkung: Atropin, Hyoscyamin und Hyoscin. Das erste und das letzte steht im deutschen Arzneibuch. — Die in derselben Pflanze oder derselben Gattung vorkommenden Basen pflegen chemisch und physiologisch ähnlich zu sein. (Gleditschin, welches Atropin und Cocaïn enthielt, war — eine betrügerische Mischung). — Hyoscyamin kann man durch verschiedene chemische Behandlungsarten glatt in Atropin überführen; hieraus erklärt sich die wechselnde Ausbeute an beiden aus derselben Arzneipflanze.

5) In meinen Arzneivorschriften sind, wie erwähnt, stets die erystallisirbaren Verbindungen vorgezogen. Hyoscin. hydrobrom. kann man auch verschreiben: letzteres steht im deutschen Arzneibuch.

Acht bis zehn Minuten nach der Einträuflung eines Tropfens der einprocentigen Hyoscinlösung wird die gesunde Pupille auf's vollständigste erweitert. Hyoscin zerreisst oder dehnt Verwachsungen,[a] die dem Atropin lange getrotzt hatten. Aber Hyoscin bewirkt auch gelegentlich Allgemeinerscheinungen, zehn bis dreissig Minuten nach der Einträuflung: nur selten Unbesinnlichkeit und Sprachstörung, etwas häufiger schon Schwindel, Benommenheit, Unsicherheit beim Gehen: diese Erscheinungen sind gefahrlos und schwinden meistens in etlichen Minuten. Aber man soll die Kranken nicht gleich nach der Einträuflung auf die Strasse schicken! Hyoscineinträuflung soll der Arzt selber machen und bei Kindern gänzlich meiden.[1]

a) Synechien.

Mitunter braucht man ein schwächeres Mittel zur Pupillenerweiterung. Bei vorschreitendem Alters-Star lasse man von der $^1/_5$% Lösung des Atropin (0,01 : 5,0) ein bis zwei Mal wöchentlich einen Tropfen einträufeln, so lange die Pupillenerweiterung dem Kranken das Sehen erleichtert; und sorge für reizlosen Zustand der Bindehaut. Sodann kommt hier die diagnostische Pupillenerweiterung in Betracht. Die Häufigkeit derselben steht im umgekehrten Verhältniss zur diagnostischen Befähigung des Arztes. Es ist ein arger Missbrauch,[2] bei jedem Fall, der zur Brillenwahl oder wegen Sehstörung kommt, sofort Atropin einzuträufeln. Die Kranken sind mehrere Tage geblendet und selbst arbeitsunfähig. Dauernde Nachtheile sind selten: aber sie kommen vor. Auf einer inneren Klinik kann man ungestraft Hunderten von Kranken Atropin einträufeln, um sie rascher, d. h. für sie angenehmer, zu spiegeln; bei der gleichen Zahl von Augenkranken würde man schon gelegentlich erleben, dass bei harten Augen,[b] namentlich des reiferen Alters, bei starker Netzhautblutung in Folge von Erkrankung der Blutgefässwandungen,[c] ein jäher Anfall von Druckzunahme und Entzündung[d] der Einträuflung auf dem Fusse folgt.[3] Deshalb sei man vorsichtig und untersuche erst vorher das Auge mit dem Spiegel und mit dem tastenden Finger.

b) Praedisposition zum Glaucom.

c) Atherose.

d) acutes Glaucom.

Uebrigens können auch die mildesten Mittel diese üble Wirkung entfalten: weder Homatropin (1%) noch Cocaïn (2%) sind ganz frei davon; aber immerhin scheinen die von den milderen Mitteln eingeleiteten Glaucom-Anfälle doch milder zu verlaufen und öfter auch ohne

1) Einträuflung von Hyoscin in $^1/_2$% Lösung (0,025 : 5,0) macht bei Erwachsenen keine Allgemeinerscheinungen.

2) Den ich auf meinen Reisen beobachtet.

3) Die Thatsache ist unzweifelhaft, obwohl sie — wie fast alles in der Heilkunde — von Einzelnen bestritten wird.

Operation, durch einfache Einträuflung des Gegenmittels (Physostigmin) wieder vollkommen zu schwinden.

Die vorher erwähnte Erfahrung sowie Menschenfreundlichkeit und Volkswirthschaft gebieten, zur diagnostischen Pupillenerweiterung, wenn sie in einzelnen Fällen von Einstellungsfehlern des Auges,[a] von Trübung der lichtbrechenden Theile, oder von starker Verengerung des Sehlochs unerlässlich erscheint, nicht die therapeutische Lösung des Atropin (1 : 100) zu verwenden, sondern eine erheblich dünnere, etwa 1 : 5000, welche man übrigens aus zwei Tropfen der erstgenannten Lösung und einem Theelöffel voll Wasser[1] augenblicklich herstellen kann; oder denjenigen Stoff zu benutzen, welcher im eigentlichen Sinne als diagnostischer Pupillenerweiterer bezeichnet zu werden verdient: ich meine das Homatropin[2] Ladenburg's.

a) z. B. Astigmatismus.

26) Homatropini hydrobromici 0,025
Aq. dest. (rec. coct.) 2,5 [3].

Die Erweiterung der Pupille erfolgt $^1/_4$ bis $^1/_2$ Stunde nach der Einträuflung, ist vollständig nach einer Stunde, schwindet aber gewöhnlich nach fünf bis sechs Stunden. Die Accommodationslähmung hört schon früher auf. Tags nach der Einträuflung haben die Kranken fast nie mehr zu klagen. —

Die pupillenverengernden Mittel[4] sind zwar nicht von so grosser Tragweite, wie die erweiternden, aber doch in vielen Fällen von erheblichem Nutzen.

Das wichtigste Mittel ist Physostigmin oder Eserin.[5]

27) a) Physostigmini sulf. neutr. 0,025
Aq. dest. (rec. coct.) 2,5; oder 5,0.

---

1) Ein Theelöffel = 5 Gramm = 5 × 20 = 100 Tropfen; $^2/_{100} \times {}^1/_{100} = {}^1/_{5000}$.

2) Oxytoluol-tropeïn (Ladenburg), welches durch Behandlung des mandelsauren Tropin mit Chlorwasserstoffsäure entsteht.

Homatropin + Wasser = Mandelsäure + Tropin
$C_{16} H_{21} NO_3 + H_2 O = C_8 H_8 O_3 + C_8 H_{15} NO$.

3) Die kleine Menge wegen des hohen Preises. — Auch Cocaïn (2%) wird zur diagnostischen Pupillenerweiterung verwendet, ist aber nicht so brauchbar wie Homatropin.

4) Miotica, von miosis, d. i. μείωσις κόρης, Verkleinerung der Pupille. — Miotica mit y ist ein mehr als sonderbarer Fehler der Bücher.

5) Der erste Name ist der des Arzneibuchs für das deutsche Reich; der zweite war bisher bei den Augenärzten der üblichere. Esere heissen bei den Negern in Calabar (Oberguinea, Africa) die giftigen Samen einer Leguminose, welche sie zu ihren sogenannten Gottesurtheilen verwenden. (Ordeal bean, Faba calabarica, semen physostigmatis venenosi.) Physostigma (von φῦσα die Blase, στίγμα das Mal) bedeutet, dass die Narbe der Bohne blasenartig aufgetrieben ist. — Physostigmin-

b) Physostigmini salicyl. 0,02
Ad. dest. (rec. coct.) 3,0. (Oder Aq. Sublimat. 5,0.)

c) Physostigmini sulf. neutr. 0,05
Aq. dest. q. s. ad solut.
Lanolini puriss. 5,0.

d) Eserin-Gelatine Plättchen. — In einer kleinen Glasröhre, mit Zänglein. Ein Plättchen genügt zur Wirkung. Bei Augenoperationen sollen die Plättchen nicht verwendet werden!

Die Einträuflung eines Tropfens der $^1/_2$ bis 1 procentigen Physostigminlösung in ein gesundes Auge bewirkt nach etlichen Minuten erhebliche Pupillenverengerung (auf 1—$1^1/_2$ Mm.), welche Tage lang fortdauert; ferner krampfhafte Einstellung des Auges für die Nähe, wobei nicht selten ziehender Kopfschmerz eintritt. Endlich bewirkt Physostigmineinträuflung auch noch eine Herabsetzung des Flüssigkeitdrucks[1]) im Augeninnern, wenn derselbe krankhaft gesteigert war.

Atropin ist stärker als Physostigmin; die durch Atropineinträuflung erweiterte Pupille wird zwar durch Physostigmin verengt, aber nur für kurze Zeit.

In therapeutischer Hinsicht möchte ich zunächst die folgenden Irrthümer beseitigen: 1) dass Physostigmin bei der Behandlung der Hornhautgeschwüre das Atropin „entthront“ habe; 2) dass Physostigmin „antiseptische“ Eigenschaften besitze und ein allmächtiges Mittel gegen Hornhautvereiterung darstelle; 3) dass bei den von Regenbogenhautentzündung zurückgebliebenen Verwachsungen die ab-

---

sulfat ist ein gelbliches crystallinisches Pulver, an feuchter Luft zerfliessend: in der Hitze sich aufblähend. Die wässrige Lösung ist klar, röthet sich aber leicht, z. B. nach längerem Stehen, oder sofort im Heissdampf-Ofen. Es bildet sich Rubreserin, ein Oxydationsproduct. Die röthlichen Lösungen sind weder unwirksam noch schädlich, wenn sie nur rein gehalten werden. Physostigminsalicylat ($C_{15}H_{21}N_3O_2$. $C_7H_6O_3$) bildet gelbliche, glänzende Crystalle und ist in 150 Theilen Wasser löslich. Beide Salze (das schwefel- wie das salicylsaure) sind bei uns officinell. Grösste Einzelgabe (innerlich) 0,001 Gramm, wie bei Atropin: deshalb Vorsicht beim Einträufeln.

1) Die klinische Erfahrung ist unzweideutig. Aber die Thierversuche sind widersprechend. Atropineinträuflung sollte nach früherer Annahme (A. v. Graefe) den Druck herabsetzen. Neuerdings suchten einige Forscher (Höltzke und Graser) zu beweisen, dass sie den Druck steigert; andere wiederum (Pflüger und Stocker), dass sie ihn vermindert. Physostigmineinträuflung soll den Druck anfänglich erhöhen, dann aber für längere Zeit um einen grösseren Betrag herabsetzen. Die Wirkung des Physostigmin wird durch Reizung des Schliessmuskels der Pupille[a]) erklärt. (Die Regenbogenhaut wird durch Verengerung des Sehlochs geglättet, die Kammerbucht befreit.)

a) Sphincter Oculomot

wechselnde Einträuflung von Physostigmin und von Atropin nützlicher sei, als die des Atropin allein; 4) dass man bei der Blutung in die Vorderkammer oder beim Eitererguss in dieselbe durch Physostigmineinträuflung die aufsaugende Fläche der Regenbogenhaut vergrössern solle: — es ist besser gar nichts oder eher Atropin einzuträufeln, da ja nach dem Aufhören der Entzündung die Aufsaugung von selber in Gang kommt: 5) dass endlich bei Accommodationslähmung mit Pupillenerweiterung das Physostigmin eine dauernde Heilung zu schaffen im Stande wäre.

Die thatsächlichen Heilwirkungen der Physostigmineinträuflung sind die folgenden: 1) Bei vorgewölbtem Geschwürsgrund[a] in der Hornhaut setzt sie den Druck herab und verringert, besonders mit gleichzeitigem Verband des Auges und Bettruhe des Kranken, die Gefahr des Durchbruchs. 2) Ein Vorfall der Regenbogenhaut aus einem Randgeschwür der Hornhaut wird durch Physostigmineinträuflung hineingezogen und verkleinert. (Dagegen würde ein Vorfall aus dem Mittelfelde der Hornhaut durch künstliche Verengerung der Pupille hervorgepresst und vergrössert werden und erheischt deshalb Atropin. Sitzt der Vorfall der Regenbogenhaut zwischen dem Rand und der Mitte der Hornhaut, so erfordert er weder Atropin- noch Physostigmin-Einträuflung). 3) Bei Flecken der Hornhaut und unregelmässiger[b] Wölbung derselben nützt Physostigmineinträuflung gelegentlich durch Verengung der Pupille, d. h. durch Verkleinerung der Zerstreuungskreise.

a) Keratocele.

b) z. B. kegelförmiger. (Keratoconus.)

Aber vor Allem ist Physostigmineinträuflung ein höchst wichtiges Linderungsmittel der Drucksteigerung[c].

c) Glaucoma.

Die Vorläufer[d]-Anfälle werden durch einen einzigen Tropfen Physostigmin wie mit einem Zauberschlage beseitigt: aber auch die ausgebildete Krankheit noch günstig beeinflusst, namentlich leichtere[1]) Anfälle dauernd geheilt oder wenigstens für längere Zeit beseitigt, oder doch gemildert, so dass die Operation bequemer auszuführen ist. Freilich, der typische Anfall der akut entzündlichen Drucksteigerung wird durch Physostigmineinträuflung, auch wenn man sie 24 Stunden lang, Tag und Nacht, fortsetzt, nur sehr wenig beeinflusst. — Hat endlich die Operation überhaupt nicht oder doch nicht für die Dauer die Spannung des Auges herabgesetzt: so pflegt man durch Physostigmineinträuflung den weiteren Verfall der Sehkraft zu bekämpfen: die Kranken haben wohl einigen Nutzen

d) Prodrome.

1) a) des künstlichen, durch Atropineinträuflung eingeleiteten; b) des „sympathischen," nach Operation (Iridectomie) des andern Auges entstandenen; c) auch des „spontanen," wenn sie noch nicht lange dauern.

davon, aber durchschlagende Erfolge sind sehr selten. Wenn vollends die Druckentartung[a] des Auges anhebt, ist die Physostigmineinträuflung geradezu schädlich und muss vermieden werden. Ueberhaupt sind die folgenden Nachtheile des Mittels wohl zu bemerken: 1) Die Physostigmineinträuflung begünstigt Entzündung der Regenbogenhaut, also Verwachsung der letzteren mit der Linsenkapsel. Ein Tropfen Physostigmin, in ein entzündungsfreies Auge geträufelt, um die Operation[b] zu erleichtern, bewirkt öfters Verklebung, selbst des unberührten Theiles vom Pupillenrand, mit der Vorderkapsel, so dass man vom dritten, vierten Tage nach der Operation Atropin einzuträufeln hat. Wenn man vor der Spaltung[c] des Hornhautabscesses, zur Vermeidung von Irisvorfall, Physostigmin eingeträufelt hat; so wird die schon bestehende Ausschwitzung der Regenbogenhaut vermehrt und Pupillensperre begünstigt, falls man nicht vom zweiten, dritten Tage nach dem Eingriff Atropin einträufelt. 2) Bei lange fortgesetzter Physostigmineinträuflung entsteht Reizung und Wucherung[d] der Bindehaut. Durch seltnere Anwendung des Physostigmin und durch zusammenziehende Mittel (Chlorwasserumschläge, Bleiacetat- und Silbernitrat-Einpinselung) ist sie zu bekämpfen; durch vollständige Reinhaltung der Physostigminlösung und der Tropfgläser lässt sie sich vermeiden.

a) glaucomatös Degeneration.

b) Iridectomie gegen Glaucom simplex.

c) Keratomie.

d) Granulation

Nur selten war ich genöthigt, z. B. bei nervösen Frauen, wegen gelinder Allgemeinerscheinungen, als Ersatzmittel des Physostigmin das Pilocarpin anzuwenden.[1])

28) Pilocarpini hydrochlorici 0,05
Aq. dest. (rec. coct.) 5,0.

1) Vgl. oben die elfte Vorschrift.

Zweiter Abschnitt.

Die Augenoperationen.

Die Augenheilkunde unterhält zwar heutzutage die allerwichtigsten Beziehungen zu der Lehre von den inneren Krankheiten, da Veränderungen der Augen ganz wesentlich beitragen zur Erkenntniss von Säfte-Entmischungen, von Leiden des Gehirns, des Herzens, der Nieren; aber ursprünglich und bis gegen die Mitte unseres Jahrhunderts hin war sie ein Theil der Lehre von den äusseren Krankheiten.

Die chirurgische Behandlung von Augenleiden gehört mit zu den wichtigsten und segensreichsten Thätigkeiten des Arztes.

Zunächst haben wir einige allgemeine Gesetze zu betrachten; zum besseren Verständniss ihrer Anwendung will ich vorweg die hauptsächlichsten (typischen) Augenoperationen ganz kurz beschreiben.

1) Die Ausziehung der getrübten, harten Crystalllinse.[a] (Fig. 3. Der äussere Kreis stelle den Umfang der Hornhaut dar, der innere den der Pupille.)

a) Extractio cataractae durae.

A) Ein schmales (strohhalmförmiges) Messer wird bei *a* eingestochen, wagerecht durch die Vorderkammer geführt und bei *c* ausgestochen: so vollendet man den etwa zwölf Mm. langen Bogenschnitt *abc* am Hornhautrande.

Fig. 3.

B) Hierauf bringt man der Linsenvorderkapsel in der Pupille mit einem kleinen Häkchen einen Kreuzschnitt bei.

C) Endlich lässt man die getrübte Linse durch sanften Druck auf den Augapfel austreten.

Das blinde Auge kann durch die Operation volle Sehkraft wiedergewinnen.

2) Die Ausziehung der getrübten, weichen Crystalllinse.[a] (Fig. 4.) Mit einem lanzenförmigen Messer legt man den gradlinigen Schnitt *d e*, von etwa sechs bis acht Mm. Länge, durch die Hornhaut an; spaltet die Vorderkapsel und entfernt die getrübte Linse.

a) Extractio cataractae mollis.

Fig. 4.

3) Die Zerschneidung der getrübten, weichen Crystalllinse.[b] (Fig. 5.) Nach künstlicher Erweiterung der Pupille sticht man mit einer Nadel an dem Punkte *f* durch die Hornhaut und bringt der Linsenkapsel einen Kreuzschnitt bei. Durch Zutritt des Kammerwassers wird die weiche Linse allmählich im Laufe einiger Wochen aufgelöst. War sie von vornherein geschrumpft oder nur häutig, so wird sofort durch die Linsenzerschneidung ein brauchbares Sehloch gebildet.

b) Discissio cat. mollis.

Fig. 5.

4) Pupillenbildung.[c] (Fig. 6.) Ist die natürliche Pupille verschlossen durch ein neugebildetes Häutchen, oder von vorn versperrt durch eine Hornhautnarbe, oder von hinten durch umschriebene Linsentrübung; so wird am Rande der Hornhaut ein Schnitt *g h* von etwa 5 Mm. Länge angelegt, mit einem Zänglein die entsprechende Irisfalte ergriffen, hervorgezogen und abgeschnitten. Eine künstliche Pupille ist gebildet. Das blinde Auge ist wieder sehend geworden.

c) Coromorphosis, (κόρφωσις κόρης[1]), Irid-ek-tomia.

Fig. 6.

5) Der hintere Lederhautschnitt. (Fig. 7.) Sitzt im Glaskörper (oder in der Netzhaut) ein eingedrungener Eisensplitter; so werden die Umhüllungshäute des Auges in der Richtung und Länge von *i k* (etwa sechs Mm.) getrennt, das schnabelförmige Ende des Electromagneten in die Tiefe gesenkt, der Eisensplitter herausgezogen, und so das Auge vom Untergang gerettet.

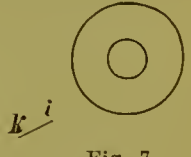

Fig. 7.

Durch einen ähnlichen Schnitt kann auch der Blasenwurm[d] aus dem Glaskörper und selbst aus seinem Sitz hinter der Netzhaut hervorgezogen werden.

d) Cysticercus

6) Die Schieloperation[1]) besteht in der Freilegung der Sehne s_1 s_2 (Fig. 8) eines graden Augenmuskels, die nun entweder abgeschnitten (zurückgelagert) oder nach vorn gegen den Hornhautrand vorgenäht (vorgelagert) wird.

Im ersten Fall wird der Muskel geschwächt, im letzteren gestärkt: und so das vorher gestörte Gleich-

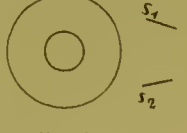

Fig. 8.

1) Strabotomie soll Schieloperation heissen, bedeutet aber Zerschneidung eines schielenden Menschen. (Στραβός scheel. τομή Schnitt.)

a) Antagonisten. gewicht zwischen den beiden Gegenspannern[a] wiederhergestellt. Die hässliche Entstellung wird beseitigt, mitunter das normale Sehen mit zwei Augen wieder gewonnen.

Besteht mässiges Einwärtsschielen, so wird der nasenwärts ziehende Augenmuskel zurückgelagert. Ist das Einwärtsschielen stärker, so wird ausserdem noch der äussere vorgelagert. Beim Auswärtsschielen wird der äussere Augenmuskel zurückgelagert, oder noch dazu der innere vorgenäht.

b) Enucleatio bulbi. 7) Ausschälung des Augapfels[b]. Indem man alle vier graden Augenmuskeln hart am Augapfel und ebenso auch die zwei schiefen und endlich den Sehnerven durchtrennt, wird der Augapfel durch Ausschälung aus seiner bindegewebigen Kapsel entfernt, und auf diese Weise bösartige Geschwülste beseitigt, die im Augapfel ihren Sitz haben; oder ansteckende Stoffe, die dem Körper Schaden bringen oder das zweite Auge gefährden.

So traurig auch diese Verstümmelung erscheint, sie wirkt lebensrettend und sehkrafterhaltend. —

Die Haupterrungenschaften der heutigen Wundarzneikunst müssen in passender Weise auf unser Gebiet angewendet und für unsere Kranken voll ausgenutzt werden.

A. Wundbehandlung.

Die von uns kunstgerecht angelegten sowie auch die durch Unfall entstandenen Wunden des so zarten Augapfels sind

c) aseptisch keimfrei[c] zuhalten, um Wundkrankheiten zu vermeiden. Wenn die Wundeiterung, welche ja fast ausschliesslich

d) Staphylo- u. Streptococcus. durch Eindringen von Spaltpilzen[d] entsteht, bereits das Augeninnere erreicht hat; so ist es sehr schwierig, meist sogar fast unmöglich,

e) antiseptische. durch keimtödtende[e] Mittel den Bestand des Auges zu erhalten.

f) Prophylaxe. Verhütung[f] der Wundkrankheiten müssen wir auf unsere Fahne schreiben.

Bei den Operationen am und im Auge handelt es sich um die folgende Aufgabe:

Keimfrei, d. h. rein im Sinne des Wundarztes, sind herzurichten der Ort, der Kranke, der Arzt und seine Gehilfen, die Instrumente, die Verbände, die verwendeten Augenwässer.

1) Allerdings, die Bedeutung der in der Luft schwebenden Keime ist bis vor kurzem erheblich überschätzt worden; in gewöhnlichen Räumen sind nicht viele und meist un-

schuldige vorhanden: aufgewirbelt, sinken sie im Laufe weniger Stunden auf den Boden.

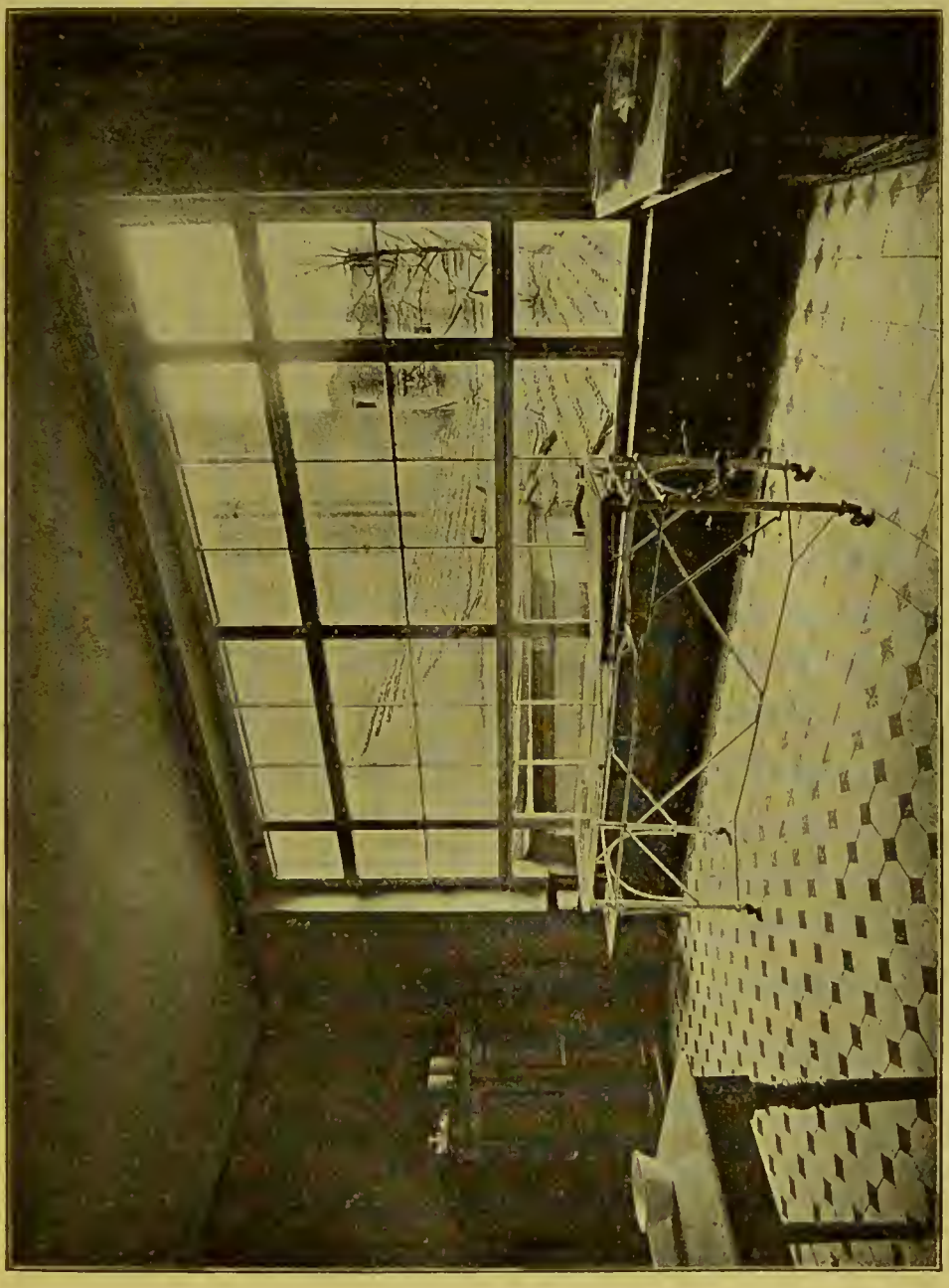

Fig. 9. Mein Operationszimmer. (Lichtfenster, Operationstisch aus Glas und Eisen.)

Man kann ruhig im Hause des Kranken operiren.[1]) Doch scheint es besser, das vorher gewählte (helle und geeignete) Zimmer etliche Stunden vor der Operation vollkommen entleeren und von Grund auf scheuern zu lassen.

Die luftreinigende Brause[a]), die mir stets nur ein Lächeln abgenöthigt, gehört der Vergangenheit an.

a) Carbolspra

1) Früher hat man es mit Vorliebe gethan, als die Krankenhäuser noch schlecht waren. Jetzt thut man es im Nothfall.

Aber in der Poliklinik, noch dazu nach der Krankenabfertigung, soll man wichtige Augenoperationen nicht vornehmen. Jede Augenheilanstalt braucht ein Operationszimmer.

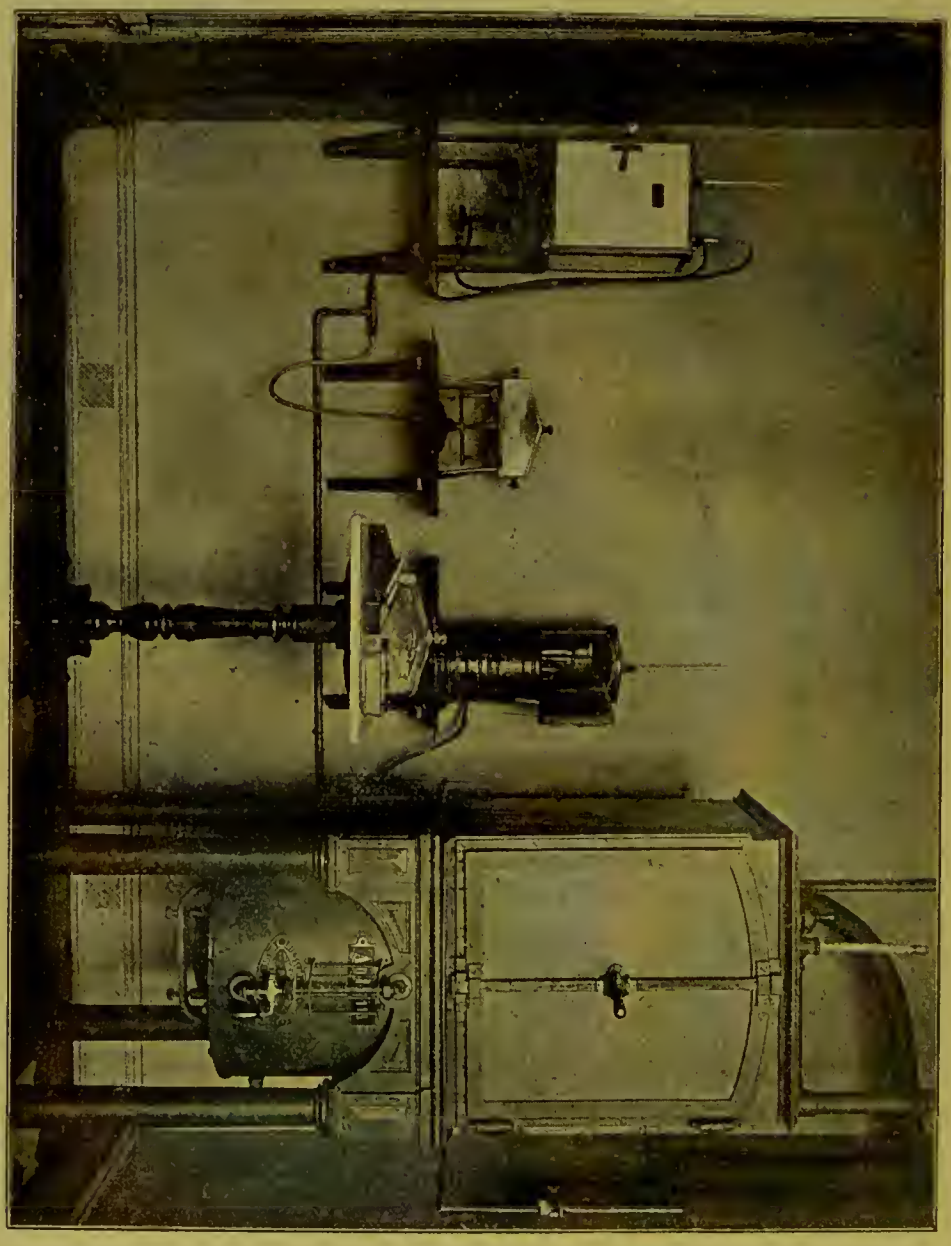

Fig. 10. Mein Operationszimmer. (Rückwand mit den Sterilisirungs-Apparaten.)

Als Assistenzarzt habe ich dies vergeblich zu beweisen gesucht, auf Reisen durch abschreckende Beispiele noch besser erkannt und dann im eignen Hause, wohl einer der Ersten, ein zweckmässiges Augenoperationszimmer eingerichtet.

Dasselbe liegt, von den poliklinischen Räumen völlig getrennt, nach Norden zu. Die nördliche Wand ist ein grosses Lichtfenster. Der Fussboden ist mit Fliesen gedeckt, die Wände mit Wachsöl gestrichen. Vorhänge und andere Staubfänger fehlen.

Das grosse, einladende Marmorwaschbecken bietet Raum für die Reinigung der Hände des Wundarztes und aller Gehilfen. Alle Tische sind aus Marmor, oder aus Glas und Eisen.

Auch der Operationstisch ist ganz aus Glas[1]) und Eisen, mit seitlichen Ausschnitten, so dass man zur Star-Operation bequem heran kann, und mit schräg stellbarem Kopftheil. Metall-Eimer mit Schmelzüberzug stehen bereit, um jedes Verbandstückchen oder Tupferchen aufzunehmen. Die Instrumente liegen in den Spinden auf Glas und Metall.

An der Rückwand befinden sich vier Apparate für die Hitze-Sterilisation von Instrumenten und Verbandsachen.

Nach jedem Operationsvormittag — ich beginne stets mit den Operationen, — wird eine gründliche Reinigung des ganzen Saales, mit Sublimatwaschung des Operationstisches vorgenommen; ebenso in der Frühe jedes Morgens.

Das starke Sublimatwaschwasser dient zur Reinigung aller Porzellan- und Glas-Sachen, die bei der Operation zur Anwendung gelangen, als da sind Glasplatten, Instrumenten- wie Operationstisch, Glaswännchen und Porzellanbretter für die Instrumente, Schälchen und Tropfgläschen.

Septische Fälle (z. B. mit Thränenschlaucheiterung) kommen nicht in diesen Raum. Contagiöse (z. B. mit Augentripper) werden bei mir überhaupt nicht aufgenommen; für diese sind besondere Kranken-Häuser oder Abtheilungen erforderlich.

2) Bei allen verantwortlichen Augenoperationen, z. B. der Star-Ausziehung, erhält, wenn irgend möglich, der Kranke am Abend zuvor ein warmes Vollbad mit Seife und zieht reine Wäsche an. Der Kopf ist gründlich zu waschen, gelegentlich allzureichlicher Haar- und Bartwuchs zu stutzen.

Das Auge selber erhält Abends zuvor und Morgens früh verdünnte Chlorwasserumschläge, je $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde lang, und wird, was das wichtigste ist, unmittelbar vor dem Eingriff gründlichst ausgewaschen, mittelst keimfreier Wattebäuschchen, die in Sublimatwasser getränkt sind: und zwar erst die Aussenfläche der Lider, dann recht sorgsam die Lidspalte mit den Wimpern[2]) und ihrem Wurzelboden, hierauf der untere Bindehautsack, endlich der obere, indem man fortwährend neue Bäuschchen nimmt. Theoretisch scheint es ja unmöglich, eine lebende Schleimhaut vollkommen

---

1) Die Glasplatte ist fünfundzwanzig Mm. dick. Auf dem Kopftheil liegt eine dicke Platte aus Gummi und darüber eine dünne. (Für blutige Operationen besondere.) Die Gummilagen werden vor und nach jeder Operation mit starker Sublimatlösung (1:1000) vollständig gereinigt.

Früher waren gepolsterte Operationsstühle mit Lederüberzug in Gebrauch.

Wird der Kranke im Bett operirt, so ist für frischen Ueberzug und für eine reine Kopfunterlage Sorge zu tragen.

2) Abrasiren der Wimpern ist auch schon empfohlen, wird aber von der grossen Mehrzahl der Fachgenossen nicht geübt und scheint unnöthig. Stutzen der Brauen ist gelegentlich ganz zweckmässig. [Den Weichselzopf habe ich bei Wenigen gefunden und, taub gegen die unbegründeten Klagen, — fortgeschnitten.]

keimfrei zu machen; und darum giebt es noch heute Einzelne, welche ganz darauf verzichten: aber ihre bedeutend höhere Verlustziffer (5 % gegen 1 %; bei der Star-Ausziehung,) spricht dafür, dass praktisch jenes Auswaschen denn doch vollständig genügen dürfte und eine segensreiche Wirksamkeit entfaltet.

Beim Schmutz-Star mache ich das Auswaschen zwei Mal, vor und nach der Cocaïn-Einträufluug. Das schwache Sublimat-Augenwasser (1 : 5000) ist das beste Mittel zur Wundspülung am Auge und zum Befeuchten des Verbandes.

Mitunter, z. B. bei durchbohrender Verletzung, vor der sofortigen Magnetanwendung, muss man sich mit vorsichtiger Waschung der Lider und Cocaïn-Sublimat-Spülung der Wunde begnügen.

3) Der Arzt und seine Gehilfen reinigen die Hände mit warmem Wasser und Seife, Hand- und Nagelbürste, die unter Sublimatwaschwasser 1 : 1000 gestanden haben, mit Alkohol und mit einer Sublimatlösung 1 : 2000; sie ziehen frisch gewaschene, mit dem heissen Eisen gebügelte Leinwandröcke an.

4) Die Instrumente, welche in's Augeninnere eindringen, (bei der Star-Ausziehung bis in die Nähe des so empfindlichen Glaskörpers, der den besten Nährboden für so viele Keime darstellt: bei der Discission, bei der Magnetoperation bis hinein in den Glaskörper,) müsssen auf das sorgfältigste keimfrei gemacht werden und dabei ihre Schärfe behalten. Zum Glück lassen glatte Stahlflächen sehr leicht sich reinigen: sonst wären die verhältnissmässig guten Erfolge der früheren Zeit nicht erreicht worden.

Gründliche Reinigung ist eine gute Asepsie. Aber praktische Zulässigkeit und theoretische Genauigkeit sind zwei verschiedene Dinge. Das Hineintauchen und selbst das Einlegen in Carbolsäure (von fünf Prozent auf kurze Zeit, von zwei Prozent danach auf längere Zeit) giebt keine absolute Sicherheit.

Kochendes Wasser aber zerstört die Eiterpilze sofort, bei der Berührung.[1]) Reingehaltene Instrumente sind zuverlässig, wenn sie ½ bis 1 Minute in siedendes Wasser getaucht waren.[2])

---

1) Davidsohn, Berl. klin. W. 1888. N. 35. (Aus R. Koch's Laboratorium). Einige Augenärzte haben schon lange vorher die Instrumente in Wasser gekocht; jetzt thun es auch die Chirurgen. Hr. v. Bergmann benutzt, um das Rosten zu vermeiden, die einprozentige Sodalösung. Vgl. Schimmelbusch, Aseptik, Berlin 1892.

2) Sie bleiben so meist fast rostfrei; rosten aber stark, wenn man sie in kaltes Wasser legt und dieses aufkocht. Der Heissluft- wie der Dampf-Apparat macht starken Rost, das Glühen in der Flamme verdirbt den Stahl.

Mein Kocher ist aus Nickelmetall, vierkantig, nach oben pyramidenförmig, mit zwei Handgriffen und abhebbarem Deckel. Er wird mit warmem (vorher frisch abgekochtem) Wasser gefüllt, und dieses durch einen dreiflammigen Gasbrenner sofort zum Sieden gebracht. (Wer im Hause des Kranken operirt, bedient sich eines Spiritusbrenners, den die Abbildung 11 darstellt.)

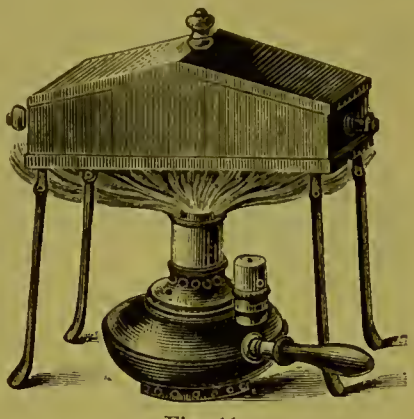

Fig. 11.

Die Star-Instrumente waren soeben vorher an sterilisirtem Goldschlägerhäutchen[1]) geprüft und in eine gereinigte Glaswanne gelegt, die mit absolutem Alkohol aus frisch eröffneter Flasche (von 250 Gramm) gefüllt ist; sie werden jetzt, namentlich die scharfen, aus dem Wännchen auf den schrägen Steg (Fig. 12 b) gelegt, wo sie durch eigne Schwere festliegen und doch leicht abhebbar sind; die übrigen kommen unten auf das Drahtgitter.

Man fasst den Steg an seinen Elfenbeinknopf, setzt ihn in das stark siedende Wasser für $^1/_2$ — 1 Minute; hebt ihn dann wieder heraus und setzt ihn auf den gereinigten kleinen Glas-Eisentisch. Sofort träufelt das Wasser ab, kühlen sich die Instrumente ab. Abtrocknen ist überflüssig, Zuwarten unnöthig; man kann ungesäumt zur Operation schreiten. — (Fig. 12 c ist eine auf b passende Glasglocke.)

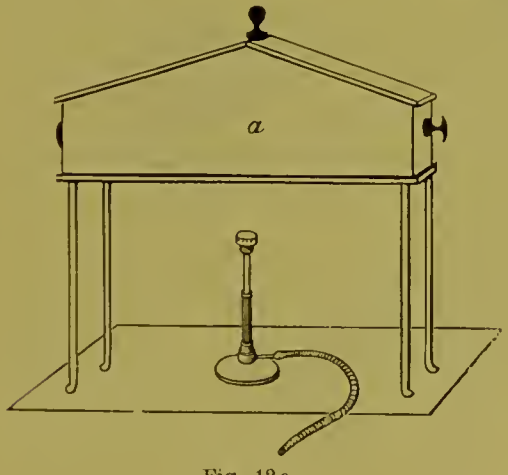

Fig. 12 a.

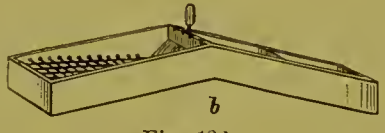

Fig. 12 b.

Fig. 12 c.

Die Schneiden werden geschont, die Sicherheit ist eine vollständige. Die Schnelligkeit ist gross, ebenso die Bequemlichkeit.

Nach der Operation werden die gebrauchten Instrumente sofort in lauem Wasser gereinigt, alle hakigen[2]) mit einer feinen, besonderen Bürste; wieder in ihre

---

1) Handtellergrosse Stückchen werden zwischen zwei Lagen von Verbandwatte in ein offenes Porzellan-Döschen gethan und für eine Stunde dem heissen strömenden Dampf ausgesetzt, dann in demselben Döschen aufgehoben.

2) Alle Winkel sind Bakterienfänger, weil in ihnen leicht organische Substanz, d. h. Nährboden, haftet. Darum verwerfen wir alle unnöthig zusammengesetzten Instrumente, wie gedeckte Messerchen, die aus Röhren hervorgeschoben werden, u. dgl. Aber winklige Flieten und Hakenpincetten können wir nicht entbehren: nur dürfen

Glaswanne voll absoluten Alkohols gelegt und bei Seite gesetzt;[1]) am Schluss des Operationsmorgens noch einmal — mitsammt der Bürste — gekocht, dann aus dem Alkohol mit keimfreien Leinwandläppchen abgetrocknet und fortgelegt.

Für jede Operation kommen frische, an dem betreffenden Morgen noch nicht gebrauchte Instrumente zur Verwendung; und jedes Mal frisches Siedewasser.

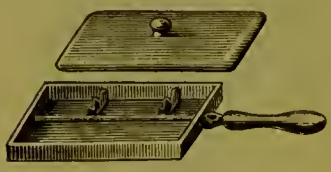

Fig. 13.

Ich hatte noch verschiedene andere Kocher angegeben und verwendet, kupferne mit Stegen oder mit einem Drahtnetz, ähnlich denen, welche heutzutage von den Chirurgen benutzt werden; einen kleinen aus Porzellan (Fig. 13) mit Stegen und Deckel, der jetzt von mir als Instrumentenbrett benutzt wird u. s. w.

Der Sterilisationsapparat von Förster besteht aus Spirituslampe, Kochtopf auf Dreifuss, und einem Einsatz, in welchem die Instrumente mit Klammern befestigt werden. Fig. 14a zeigt den Einsatz in der Seitenansicht, 14b von oben.

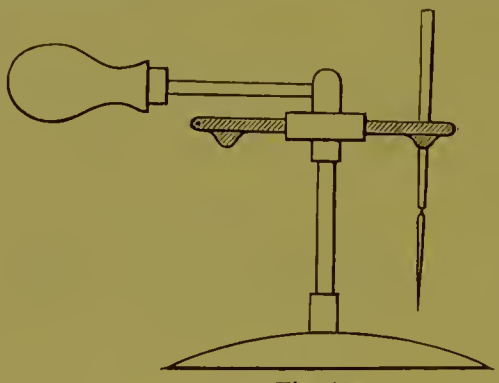

Fig. 14a.

Fig. 14b.

Aber, da bei unseren Operationen nicht sehr viele Instrumente auf einmal gebraucht werden, so kann man auch in einem gewöhnlichen Porzellan-Kocher mit Griff (von 1 Liter, $^1/_2$, $^1/_4$ Liter Inhalt) Wasser sieden; Pincetten, Sperrer, Scheeren einlegen, Messer für $^1/_2$—1 Minute hineinhalten und dann alles ordnungsmässig auf das gereinigte, getrocknete Porzellanbrott[2]) legen. (Figur 15.) Abtrocknen ist nicht nöthig; muss aber, wenn überhaupt, mit keimfreien Läppchen geschehen.

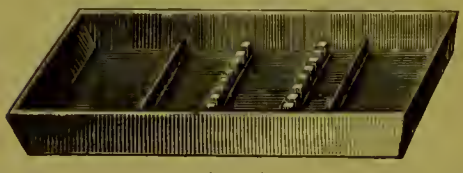

Fig. 15.

So mache ich es für die Pupillenbildung. Ferner für die Schieloperation. Zum Nähen verwende ich niemals Catgut, da es einmal für diese Zwecke nicht so bildsam

---

sie nicht — „Blutkörperchen, Linsenfasern und dgl." enthalten, wenn man sie aus dem Spinde nimmt!

1) Wir haben einen Anrichtetisch und einen Abrüstetisch.

2) Als ich Assistent war, hatte man Instrumentenbretter, mit rothem Sammt überzogen! Selbständig geworden, liess ich mir solche aus lackirtem Eisenblech anfertigen. Später solche aus dem besten Stoff, aus Porzellan, die allgemein angenommen sind.

Wer nichts der Art beschaffen kann, lege die Instrumente auf ein frisch geplättetes Handtuch, — wie der alte Bartisch vor dreihundert Jahren.

ist wie Seide, und da es vom Arzt nicht so bequem sterilisirt[1]) werden kann; sondern Seidenfäden, die im Glaskasten auf Glasspindeln unter (allwöchentlich erneuerter) fünfprocentiger Carbolsäurelösung aufgehoben, und eingefädelt, mitsammt den Nadeln, ausgekocht werden.

Man kann auch die gekochten Instrumente in eine gereinigte Glaswanne voll sterilisirten[2]) Carbolwassers ($2^1/_2\,\%$) legen und mit den feuchten Instrumenten sofort operiren. Das Auge verträgt diese geringen Mengen Carbol ganz gut, selbst zur Iridectomie und Star-Operation.

So mache ich Magnet- und Cysticercus-Operationen, wobei der Glaskörper eröffnet wird, und Chloroformnarcose, also längeres Liegen der Instrumente, nöthig ist. Eine gereinigte Glasplatte deckt die Wanne.

So mache ich die Ausschälung des Augapfels und Lidoperationen, wobei immer wegen der für unsere Verhältnisse schon stärkeren Blutung eine zweite Glaswanne voll Carbolwasser vorräthig gehalten wird.

Ich liebe es, für Star-Operation, Schiel-Operation, Enucleation, ebenso wie Pincetten und Sperrer, so auch Kocher, Schälchen, Porzellanbretter u. dergl. vollständig getrennt zu halten. Uebrigens ist die Ausführung dieser Vorsichten einfacher, als die Auseinandersetzung. Wer Ordnung geschaffen und Ordnung hält, wird rasch und sicher fertig werden.

4) Alle Verbandgegenstände werden durch heissen strömenden Dampf keimfrei gemacht.

Bis vor einem Menschenalter wurde zerzupfte Leinwand[a]) zum Verbinden benutzt. Dieselbe war unrein und hat viel Unheil angestiftet. Einzelne klardenkende Wundärzte[3]) liessen sie vor dem Gebrauch auskochen!

a) Charpie franz., von carpere.

Die antiseptische Begeisterung zauberte vor nahezu zwanzig Jahren allenthalben Verbandstoff-Fabriken hervor, in denen man Verbandwatte und Florgewebe mit den für antiseptisch gehaltenen Stoffen durchtränkte. Voll gläubigen Vertrauens haben wir jahrelang Jodoform-, Salicyl-, Carbolwatte, Sublimatgaze angewendet, bis die Untersuchung lehrte, dass die käuflichen Stoffe, frisch eröffnet, Bakterien enthalten und als keimtödtend gar nicht bezeichnet werden können.[4]) Dagegen sind Verbandstoffe, welche für eine

1) Es sind durch Catgut schon schwere Vergiftungen vorgekommen (Volkmann, Zweifel); in den chirurgischen Kliniken zu Bern und zu Dorpat wird es nicht mehr angewendet. — Nicht Astley Cooper hat zuerst mit Darmsaiten unterbunden, wie Schimmelbusch (S. 102) meint; sondern eher — Galen. (Meth. med. XIII, 22. — Ausg. v. Kühn Band X, S. 911.)

2) Es klingt ja wunderbar, das, was man vor Kurzem noch ein Antisepticum nannte, erst zum Gebrauch aseptisch zu machen, durch Einwirkung des strömenden Dampfes. Aber wir sind in den letzten Jahren in unseren Anforderungen weit strenger geworden.

3) Larrey. (Bonaparte's Zug nach Aegypten, 1798.)

4) Laplace, deutsche med. W. 1887 N. 40. — Schlange (Arch. f. klin. Chir. B. 36, S. 903.) untersuchte aus einer angesehenen Fabrik zehnprozentige Jodoform-

Stunde dem heissen, strömenden Wasserdampf[1]) ausgesetzt waren, sicher vollkommen keimfrei; nicht blos Eiterpilze, sondern sogar die so überaus zähen Milzbrandsporen sind darin nach fünfzehn Minuten vollkommen abgetödtet.

Seit mehreren Jahren verwende ich nur sublimatfreie, mit heissem Wasserdampf keimfrei gemachte Verbandsachen.

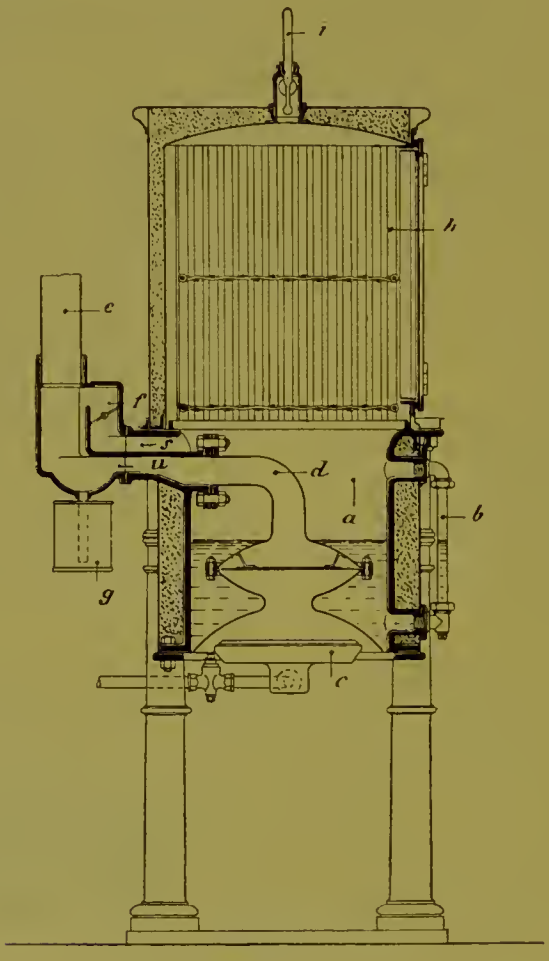

Fig. 16.

In der Rückwand meines Operationszimmers steht ein Henneberg'scher Desinfektor (*Ao* — der erste dieser Art, der aufgestellt worden. —). Wöchentlich einmal werden eingelegt etwa 100 Binden (in halboffenen Porzellantöpfen). 12—18 geschlossene Verbandpatronen[2]), zugeschnittene Leinwandstückchen und Florgewebe-

watte, zehnprozentige Carbolwatte, einprozentige Sublimatgaze und fand kein einziges Päckchen bakterienfrei. Die Bruns'sche Verbandwatte enthält sehr zahlreiche Bakterien, welche sogar die Gelatine verflüssigen. (C. Fränkel.)

1) M. Wolff, Koch, Wolffhügel, Gaffky, Löffler, v. Esmarch.

2) Diese sind schon in der Fabrik mit heissem Dampf sterilisirt. Aber, wer keimfrei arbeiten will, kann sich auf keinen Fabrikanten verlassen. Die Pappatrone von 50 Gramm wird erst unmittelbar vor dem Gebrauch eröffnet.

tupfer[1]) (gleichfalls in Porzellantöpfen), zwei Dutzend reine Handtücher für Staroperation u. s. w., auch einige (gutverbundene) Viertel-Literflaschen voll Carbolwasser.

Eine Stunde lang lässt man die auf 100° C. erhitzten Wasserdämpfe durchströmen. Dann trocknet man die Verbandstücke innerhalb des Apparates mittelst filtrirter Luft und hebt sie sauber und zuverlässig auf, im verschlossenen Spinde.

Die folgende Beschreibung des Henneberg'schen Desinfectors (*A o*) ist mir von den Verfertigern geliefert worden.

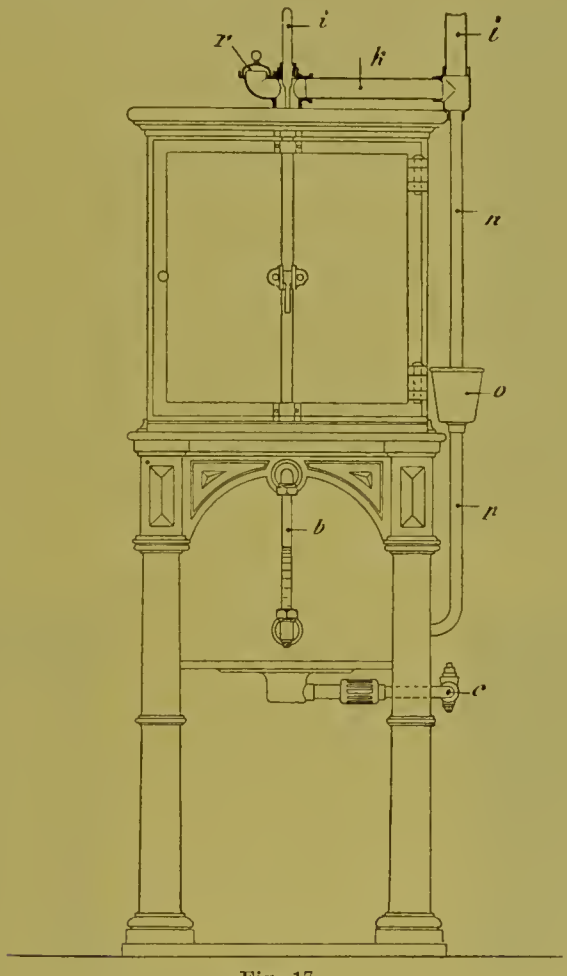

Fig. 17.

„Figur 16 stellt den Desinfektor im Querschnitt, Figur 17 in der Vorderansicht dar. Der Apparat besteht, wie Figur 16 erkennen lässt, aus dem unteren, zur Erzeugung des Wasserdampfes bestimmten Theil *a* und der direkt über dem Verdampfungsapparat befindlichen Desinfektionskammer *h*. Letztere ist an der Vorderseite mit einer dicht schliessenden Thür versehen und auf allen Seiten mit einem Wärmeschutzmantel ausgerüstet. Die Erzeugung des Wasserdampfes geschieht durch den Gasbrenner *c*, dessen Feuergase durch den, dem Wasser eine grosse Oberfläche bietenden, linsenförmigen Heizkörper hindurchziehen und schliesslich durch das Rohr *d* und Kanal *u* nach dem Schornstein *e* gelangen. Der erzeugte Wasserdampf steigt

1) Dieselben werden nur einmal gebraucht und gleich fortgeworfen. — Schwämme sind verbannt.

vom Wasserspiegel aus direkt empor in dio Desinfektionskammer *h* und zieht durch das Rohr *k* nach dem in's Freie führende Abdampfrohr *l* hin.

Um nach beendeter Desinfektion ein weiteres Ueberströmen des Dampfes in die Desinfektionskammer zu verhindern, ist zwischen der Desinfektionskammer und dem Schornstein *e* ein Kanal *s* hergestellt, welcher durch die Drosselklappe *f* verschliessbar ist. Gleichzoitig befindet sich oben auf der Desinfektionskammer eine abnehmbare Glocke *r*. Die Wirkung dieser Einrichtung besteht darin, dass bei abgenommener Glocke *r* und geöffneter Drosselklappe *f* durch die Wirkung des Schornsteins frische Luft oben in die Desinfektionskammer eingesaugt und diese Luft gleichzeitig mit sämmtlichen im ganzen Apparat befindlichen Dampf durch den Kanal *s* zum Schornstein hingeführt wird."

Gleichzeitig werden dadurch die Verbandsachen vollkommen getrocknet. — Ich pflege auf die Oeffnung *r* einen gereinigten Wattebausch zu legen, durch den die angesaugte Luft filtrirt wird.

Der Dampfsterilisator von Lautenschläger kann in jedem Zimmer aufgestellt werden da er nicht mit dem Schornstein verbunden ist. (Fig. 18 u. 19.)

Derselbe besteht aus zwei in einander gesteckten Kesseln (M und N), zwischen denen ein cylindrischer Wasserraum (O) von mehreren Centimetern Breite übrig bleibt. Der Deckel mit Thermometer wird aufgeschraubt, das eingefüllte Wasser mit einem Gas- oder Spiritusbrenner erhitzt. Der Dampf dringt von oben in den inneren Cylinder, welcher die Verbandsachen enthält, und wird unten durch ein Rohr abgeleitet nach einem mit Wasser gefüllten Kühlgefäss.

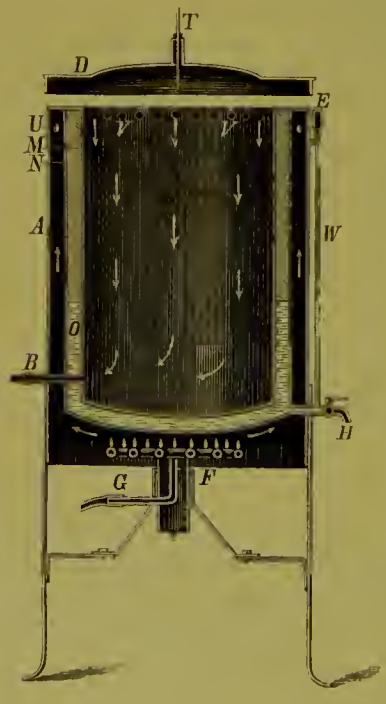

Fig. 18.

Fig. 19.

Noch einfacher, aber für die Zwecke des praktischen Arztes hinreichend und wohlfeil ist der R. Koch'sche Dampfkochtopf. (Fig. 20.)

5) Alle die bei der Star-Operation und den anderen verantwortlichen Eingriffen anzuwendenden Augen-

wässer werden in geschlossener Flasche durch heissen strömenden Dampf keimfrei gemacht.

Unmittelbar vor dem Star-Schnitt träufeln wir Cocaïnlösung ein, Physostigminlösung sogar nach Eröffnung der Hornhaut und der Linsenkapsel. Da können wir uns nicht allein auf den Apotheker verlassen, wenn wir keimfrei arbeiten wollen; denn die mikroskopische Untersuchung hat uns die Anwesenheit von Pilzen in neuen, frisch eröffneten Flaschen von Cocaïn- und Physostigmin-Lösung nachgewiesen.

Fig. 20.

Jeder Star-Kranke erhält seine eigene Flasche Sublimat-Augenwasser (1:5000; und zwar 0,02:100 Gramm), ferner Cocaïn-Lösung (2%), Physostigmin-Lösung (1%). je 2,5 Gramm.

Die vom Apotheker möglichst steril, mit frisch gekochtem destillirtem Wasser hergestellten Lösungen werden des Morgens vor der Operation in einem kleinen Münecke'schen Ofen aus Kupfer, der gleichfalls im Operationszimmer sich befindet, für 1/4 Stunde dem strömenden, heissen Dampf ausgesetzt; und verbleiben darin bis zum Gebrauch.

Die verschlossenen Flaschen platzen nicht, die Sättigung der Lösungen ändert sich nicht, ihre physiologische Wirkung bleibt erhalten.[1])

Die Flaschen sind, wenn der Wundarzt sie in die Hand nimmt, aussen wie innen keimfrei. Praktisch ist es, durch die Farbe der Flaschen sofort den Inhalt kund zu geben, z. B.

blau = Cocaïn,
braun = Physostigmin,
weiss = Atropin.

Zum Schluss bemerke ich noch, dass an der Rückwand meines Operationszimmers neben dem Verband-, dem Arznei- und dem Instrumenten-Reiniger noch viertens ein Rohrbeck'scher Heissluft-Kasten angebracht und auf 130° C. eingestellt ist. Derselbe wird benutzt:

1) wenn Verbandsachen oder Läppchen sparsam geworden, um kleinere Mengen keimfrei herzurichten;

2) um Dinge, welche heissen Dampf nicht vertragen, keimfrei zu machen, z. B. die gestärkten Gazebinden, die den Verband befestigen; oder die chinesische Tusche zum Färben von Hornhautflecken.

---

1) Physostigmin-Salicylat-Lösung wird röthlich, das Sulfat tiefroth. — Aufkochen im Proberöhrchen ist weniger vortheilhaft. Cocaïn verträgt längeres Kochen gar nicht.

Die Vereinigung der vier Apparate (vgl. Fig. 10) ist eine praktische Anwendung des alten Glaubens und der neuen Ueberzeugung von der reinigenden Kraft des Feuers und der Hitze.

Die sorgsamste Befolgung der Reinlichkeitsvorschriften und nicht blindes Vertrauen in sogenannte antiseptische Flüssigkeiten sichert den dauernden Erfolg der Augenoperationen.

Die glückliche Unbefangenheit der früheren Zeit ist geschwunden, aber mit dem peinigenden Gefühl grösserer Verantwortlichkeit ist auch befriedigende Sicherheit des Erfolges bei uns eingezogen.

Geschichtliche und praktische Bemerkungen über Wundbehandlung des Auges.

Dass Wunden am Auge rein zu halten sind, dürfte heutzutage wohl Niemand in Zweifel ziehen; und offen gestanden, hat es auch früher Niemand bezweifelt.

Schon Hippocrates[1]) empfahl dringend ganz reine Verbandstoffe. Celsus[2]) rieth, nach der Star-Operation mit entzündungswidrigen Mitteln zu verbinden.

Galen[3]) umgab eine grössere Arterie in der Schläfe, bevor er sie — wegen Augenentzündung — ausschnitt, oben wie unten mit einer Schlinge aus aseptischem Stoffe.

Bartisch,[4]) der erste deutsche Augenarzt, warnt dringend vor unreinen Star-Nadeln.

Aber die eigentlich antiseptische oder vielmehr aseptische Wundbehandlung bei Augenoperationen und namentlich bei dem Star-Schnitt lebt doch erst ein halbes Menschenalter. Die Augenheilkunde ist auf diesem Gebiete der Chirurgie langsam und zögernd nachgeschritten.

Dies lag an verschiedenen Ursachen. Einmal waren die Erfolge der Augenoperationen, auch ohne die bekannten Vorsichten der heutigen Wundarzneikunst, als ziemlich gute zu bezeichnen und erst kurze Zeit zuvor, namentlich auf Anregung von Graefe's (1867) durch Vervollkommnung der mechanischen Verhältnisse noch wesentlich verbessert worden.[5]) Sodann schien der typische Listerverband gerade bei den typischen Augenoperationen, namentlich bei dem Star-Schnitt, nicht angezeigt zu sein, wenngleich ja die in den unglücklichen Fällen auftretende Vereiterung des Augapfels[a]) als septische, d. h. durch Eindringen von Eiterpilzen bedingte Wundkrankheit aufzufassen war. Denn die Star-Oporation liefert nicht Wundabsonderung, die durch Drainröhren abgeleitet werden könnte oder durch Carbolsäure unschädlich gemacht werden müsste. Endlich lehrte die unmittelbare Erfahrung, dass Ver-

a) Pantophthalmie. (Panophthalmitis.)

1) Littré's Ausg. II. 302: *ἐπιδέσματα καθαρά*. Vgl. mein Wörterbuch der Augenheilk. 1887, S. 7. Mein Freund Anagnostakis zu Athen hat, hierdurch veranlasst, eine schöne Arbeit geschrieben: Die antiseptische Methode bei den Alten. Athen 1889.

2) De med. VII, 7, 14.

3) M. m. XIII, 22. (Ausg. v. Kühn X, 942): *ἐξ ὕλης δυσσήπτου*.

4) Augendienst, Dresden, 1583.

5) Etwa fünf Prozent Verluste, d. h. Vereiterung des Auges, nach der Ausziehung des harten Alters-Stars.

suche mit Listerschen Methoden keineswegs zum besonderen Vortheil für die operirten Augen ausschlugen.

Allmählich fand man aber die richtigen Grundsätze auch für die Wundbehandlung des Auges und damit auch zweifellos bessere Erfolge, als früher. Horner in Zürich hatte 1867 bis 1870 bei 211 Starextractionen 6,6% Verluste; unter Befolgung antiseptischer Vorsichten 1870—1875 nur 1,5% bei 391 Extractionen, und 1875—1880 sogar nur 1,1% bei 346 Extractionen von uncomplicirten Alterstaren. J. Jacobson in Königsberg findet beim Rückblick auf seine 30jährige Praxis 10% Verluste bei der alten Lappenextraction, 3 bis 5% bei v. Graefe's Methode, in den Jahren 1883 und 1884 keinen Verlust unter 137 Extractionen. A. Graefe in Halle berichtet über 1414 Extractionen, die er von 1877 bis 1884 unter vier verschiedenen Abänderungen der Wundbehandlung ausgeführt, die Verlustziffer betrug $5\frac{1}{2}$%, $6\frac{1}{4}$%, $4\frac{2}{3}$% und in der letzten Reihe (190 Fällen) 1 bis 2%. Bei der letzten Reihe kam Sublimatlösung (1:5000) zur Verwendung, welche, nach R. Koch's Entdeckung, auf Grund eigner Versuche zuerst von H. Sattler für die Augenheilkunde empfohlen worden ist. Später hatte A. Graefe in 440 aufeinanderfolgenden Starextractionen keinen einzigen Fall von Vereiterung.[1]) Das hatte früher kein Wundarzt zu Stande gebracht!

Ich selber hatte im Anfang meiner eignen Praxis (1869) für alle Kranken zunächst das Gesetz der vollständigen Materialientrennung eingeführt[2]) und dadurch die Contagion von Augenentzündung gänzlich ausgeschlossen. Für die Wundbehandlung schien mir die Asepsie[3]) stets das erstrebenswerthe Ziel zu sein. (Vgl. C. Bl. f. A. 1878 S. 151 und A. f. O. 1882.)

Jetzt hat die vorgeschrittenste Chirurgie die Fahne der Asepsie erhoben, wofür das in diesem Jahre (1892) erschienene Buch von Schimmelbusch aus der Klinik des Herrn v. Bergmann ein beredtes Zeugniss ablegt. Nicht Spray, nicht in Carbol gelegte Instrumente, nicht Carbolberieselung der Wunde, nicht carbolgesättigter Verband; sondern keimfreie Instrumente, keimfreie Tupfer, keimfreier Trockenverband!

Asepsie bedeutet Sorgfalt, Sauberkeit, Thatkraft. Sie lässt sich wohl verschieden handhaben. Doch ist es von Vortheil, ein einheitliches und übersichtliches Verfahren zu besitzen.

Nachdem wir von der Asepsie gesprochen, wollen wir noch mit zwei Worten

---

1) Ein Fachgenosse hatte von 1877 bis 1883 vierzehn Prozent Verluste bei der Star-Ausziehung, 1888 bis 1890 unter den neueren Vorsichten bei 234 Starextractionen nur einen Verlust durch Vereiterung.

Ein so eindrucksvolles Gemälde, wo auf der einen Seite nur Licht, auf der anderen nur Schatten sich findet, vermag ich von meinen eignen Erfahrungen nicht zu zeichnen.

Ich hatte bis 1874 unter 200 Fällen 4% Verluste durch Vereiterung; 1885/6 unter 100 Fällen 2%; nach Durchführung der Hitze-Sterilisation, 1888 bis 1891, unter 200 Fällen keine Vereiterung, eine Pupillensperre.

Die Sache ist erledigt. Nur wenige Querköpfe sträuben sich noch gegen die reinliche Wundbehandlung. — wie unartige Kinder gegen das Waschen.

2) Dieser wichtige Gegenstand soll noch weiter behandelt werden.

3) 1882., A. f. O. XXVIII, 1. S. 249: „Mir ist eine aseptische Anstalt lieber als die antiseptische Wundbehandlung."

auf die Sepsis[1]) eingehen. Wenn nach Verwundung oder Operation der Augapfel vereitert; so sind Eiterpilze[a]) entweder sofort eingeführt worden, oder nachträglich von der Bindehaut eingewandert. In seltenen Fällen wird durch Vereiterung des Augapfels sogar das Leben bedroht, indem die Entzündung längs des Sehnerven sich auf die Hirnhäute fortpflanzt.[b]) Allerdings vermag beim Thierversuch das Einbringen von keimfreien chemischen Reizstoffen z. B. von Terpentinöl, sowie auch von reinen Stoffwechselproducten der Bacterien, z. B. von Cadaverin, im Unterhautzellgewebe eine akute Eiterung hervorzubringen. Aber die Eiterbildung, welche wir beim Menschen beobachten, ist fast immer die Reaction des Gewebes auf die Anwesenheit und Lebensthätigkeit von Mikroorganismen und zwar von bestimmten, specifisch durch ihre Stoffwechselproducte wirkenden Bakterien. (Vgl. C. Fränkel, Bacterienkunde, III. Aufl. S. 436 fgd. R. Koch, Aetiol. d. Wundinfect.-Kr., 1878.) — Eindringen der Eiterpilze aus inneren Krankheitsherden in die frischen Wunden[c]) ist nicht ganz unmöglich, kommt aber thatsächlich fast gar nicht oder überaus selten vor, — wenn wir nicht Unglücksfälle nach Operationen beschönigen wollen.

a) Streptococcus, Staphylococcus.

b) Meningitis suppurativa.

c) endogene Infection.

Staphylokokken, die in 80% der Eiterung beim Menschen gefunden werden, sind im Mundspeichel, auf der Haut des gesunden Menschen, im Wasser, in der Luft, im Zimmerstaub u. s. w. fast regelmässig anzutreffen. Dies begründet und rechtfertigt unsere besonderen Vorsichtsmassregeln.

Da Eiterpilze sogar in dem Bindehautsack vorkommen, selbst bei anscheinend Gesunden oder wenig Erkrankten; so empfiehlt sich das gründliche Auswaschen der Bindehaut und des Lidspaltentheils vor der Star-Operation ganz von selber; es wurde schon früher geübt, ehe wir diese Kenntnisse besassen. Ebenso muss jede frische, namentlich durchbohrende Verletzung des Augapfels sorgsam abgespült werden, am besten mit Sublimat-Augenwasser. (1:5000.)

Das Augeninnere, besonders der Glaskörper, stellt wegen des eiweisshaltigen Nährbodens und der Körperwärme, wie die Forscher aus Thierversuchen wissen und die Wundärzte zu ihrer Betrübniss erfahren, den besten Brütofen dar für Spalt- und Schimmelpilze; dieselben wachsen und gedeihen, während die Gewebe des Auges zu Grunde gehen. Pilze, die an der Oberfläche des Auges bei unversehrten Deckzellen ganz unschädlich sind, vermögen, wenn sie durch Verletzung oder bei Operation in's Augeninnere verpflanzt werden, die schädlichsten Wirkungen zu entfalten.[2])

Verhütung der septischen Eiterung im Auge müssen wir auf unsere Fahne schreiben. Heilung ist schwer. 1. Am ehesten gelingt letztere noch, wenn die Pilze hauptsächlich in der Augapfelhülle sitzen, z. B. in der Hornhaut. 2. Schwieriger ist es, wenn die Vorderkammer, bezw. die Regenbogenhaut bereits stark ergriffen war. 3. Am schwierigsten gelingt die Heilung des Glaskörperabscesses. Was man früher bei beginnender Vereiterung des Augapfels, z. B. nach

---

1) Wohlgemerkt, diese Namen sind eigentlich nicht ganz richtig. Nicht blos Fäulnisspilze machen Eiterung, noch Eiterpilze Fäulniss.

2) Bei einem gesunden Arbeiter fand ich ganz frische Verletzung der Hornhaut und der Linsenkapsel durch einen Eisennagel, und ein Wimperhaar mit zwei der Wurzel anhaftenden Schleimflöckchen vom Lidrand her in die Regenbogenhaut eingepflanzt. Der Verletzte wollte durchaus nicht bleiben und kam am folgenden Tage mit eitriger Regenbogenhautentzündung. Nur mühsam konnte durch sofortige Ausschneidung des vereiterten Stückes der Regenbogenhaut und Ausziehung des Haars nebst den Flöckchen das Auge gerettet, und ein halbes Jahr später durch eine zweite Operation[d]) ihm die Sehkraft wieder gegeben werden.

d) sogen. Iridocapsulotomie.

Star-Schnitt, empfohlen hat, — Aderlass, Brech- und Abführmittel, Bestreichen der Lidhaut, Schnürverband, — hilft ebensoviel, wie Gesänge gegen eine Feuersbrunst. Heilend wirkt die Beseitigung derjenigen Massen, welche die Eiterpilze enthalten: durch Ausziehen, soweit sie beweglich sind; durch Ausbrennen, soweit sie fest mit den Augapfelhüllen verbunden sind. Der glühende Platindraht bewirkt Wunder, solange der Glaskörper noch nicht vereitert ist. Einspritzungen (von Sublimatlösung) in den Glaskörperabscess werden neuerdings empfohlen, — aber nicht von mir.

Zusatz. In klinischer Hinsicht sind drei Arten von Eiter am Auge zu unterscheiden:

1) Der Trippereiter,[1]) welcher den Tripperpilz[a]) enthält, steckt jede gesunde Bindehaut an, durch blosse Berührung der unversehrten Oberfläche. a) Gonococcus.

2) Der Thränenschlauch-Eiter, welcher Eiterpilze[2]) enthält, vermag die unversehrte Oberfläche des Augapfels nicht anzustecken, dringt aber bei Verlust der Deckzellen, z. B. der Hornhaut, sofort in die Tiefe und erzeugt Vereiterung; er ist die häufigste und wichtigste Ursache der Vereiterung des Auges nach Star-Operation. Es ist unerlässlich, die Thränenschlauch-Eiterung zu bessern, bezw. zu heilen, ehe man zum Star-Schnitt schreitet.

3) Der Eiter der Liddrüschen, die Schleimflöckchen des Lidrand- und Bindehautcatarrhs sind an sich ganz unschädlich für das Auge; nur dürfen sie nicht durch Verletzung oder Operation in's Augeninnere verpflanzt werden.

Für die örtliche Behandlung der Augenkrankheiten, welche mit der Hand geschieht, darum zur Chirurgie[3]) im weiteren Sinne gerechnet werden kann und für den praktischen Arzt noch viel wichtiger ist als das Gebiet der Augenoperationen, kommt der folgende Hauptsatz in Betracht:

Alle Schleim und Eiter absondernden Augenkrankheiten sind ansteckend, am meisten der Eiterfluss der Bindehaut; die Ansteckung geschieht durch Uebertragung des Eiters auf die gesunde Bindehaut, sei es des andern Auges, sei es eines andern Menschen.[4])

Hieraus ergiebt sich eine praktische Folgerung:

Ansteckung eiternder Bindehautkrankheiten wird ganz sicher vermieden durch vollständige Trennung

---

1) Für Augenoperationen kommt er wenig in Betracht. Aber nicht blos vor längerer Zeit (1839, Pieringer,) sondern auch noch neuerdings, wie ich in einem amerikanischen Bericht gelesen, ist Verlust des operirten Auges durch Tripperansteckung beobachtet worden. — Fälle von Augentripper und von Star-Operation sollen nicht neben einander gelegt werden!

2) Widmark fand vier, Sattler zehn verschiedene Mikroben darin, von denen sechs Eiterung erzeugten.

3) χειρουργία, von χείρ Hand und ἔργον, Werk.

4) Contagion durch Contact. Luftcontagium der Bindehauteiterung beruht auf Einbildung. Dies glaube ich durch vollständige Verhütung jedes Falles von derartiger Ansteckung, bei weit mehr als hunderttausend Kranken, nachgewiesen zu haben.

der Materialien,[1]) die ich am ersten Tage meiner eigenen Thätigkeit eingeführt habe. Jeder Kranke erhält seine eignen Sachen zur örtlichen Behandlung: Lösungen, Pinsel, Gläser. Der Arzt muss von Seife, Wasser, Bürste reichlichen und regelmässigen Gebrauch machen.

B. Betäubung.

Das kostbare Geschenk der Betäubung[2]) sichert uns die regelrechte Ausführung der Augenoperationen.

Zur örtlichen Betäubung dient die reichliche Einträuflung einer zweiprozentigen Lösung von salzsaurem Cocaïn in den Bindehautsack und über die Hornhaut.

Cocaïni hydrochlorici	0,1
Aq. dest., rec. coct., (oder Aq. sublimat.)	5,0.

Bezüglich unserer wichtigsten Operation, der Kernstar-Ausziehung, können wir dem Blinden tröstend verheissen, er werde bei vollem Bewusstsein und ohne den geringsten Schmerz von seiner Starblindheit befreit werden. Die örtliche Betäubung hat gerade hier namhafte Vortheile, da wir zur Vollendung der Operation der willkürlichen Augenbewegungen, also einiger Mithilfe des Kranken, nicht gern entrathen. Nur wenn der Vorversuch[3]) zeigt, dass der (erwachsene) Kranke sich gar nicht beherrschen kann und dass er auch nicht in kürzerer Zeit zur Selbstbeherrschung zu erziehen ist, und sonst ausnahmsweise bei besonderen Gefahren, ist die allgemeine Betäubung durch Chloroform vorzuziehen. Letztere ist auch am Platz, wenn man den durch stark entzündliche Drucksteigerung[a]) gespannten Augapfel zu eröffnen hat,[b]) zumal hierbei, wegen der Röthung und Schwellung der Bindehaut, das Cocaïn seine hilfreiche Wirkung versagt, und da überhaupt die Iris durch Cocaïn nicht unempfindlich wird. Dagegen kann man bei Erwachsenen leichtere Iridectomien unter Cocaïneinträuflung regelrecht, wiewohl nicht ganz schmerzlos verrichten. Auch Schieloperationen, — diese mit dem besonderen Vortheil, dass der Kranke uns durch seine Augenbewegungen unterstützt. Bei Lidoperationen, ja sogar bei der Ausschälung des

a) Glaucoma acutum.
b) Iridectomie.

---

1) Anti-Socialismus, Individualismus.

2) *νάρκωσις*, Betäubung, bei Hippocr. im leidenden Sinne; im thätigen erst seit der Mitte unseres Jahrhunderts. Auch *ἀναισθησία*, Unempfindlichkeit, wurde von den Griechen nur im leidenden Sinne angewendet, während die Deutschen „locale Anaesthesie“ für „örtliche Betäubung“ sagen.

3) Tags vor der Star-Operation lege ich dem Kranken den Lidsperrer ein, ohne Cocaïn, und übe das Auf- und Abwärtsblicken.

Augapfels, wird ein bis zwei Gramm der zweiprozentigen Lösung des Cocaïn nach verschiedenen Richtungen unter die Haut, bezw. Schleimhaut gespritzt.

Unmündige, d. h. Kinder, und auch Unvernünftige müssen zu allen Operationen im Augeninnern mit Chloroform (oder Schwefeläther) betäubt werden.

Die Betäubung muss aber eine vollständige sein. Ist bei halber Betäubung der Augapfel eröffnet, so kann das Schlimmste erfolgen.[1])

Zur Untersuchung des Kranken ist Betäubung nur selten erforderlich. Wenigstens habe ich die Augenspiegelung bisher noch immer, auch bei den unruhigsten Kindern, mit Geduld und ohne Chloroform zu Stande gebracht. Aber bei schwerer, durchbohrender Verletzung des Auges von Kindern und sehr unruhigen Erwachsenen empfiehlt es sich, einen vorläufigen Verband anzulegen und dann unter Betäubung die Untersuchung vorzunehmen und die nöthige Behandlung sogleich daran zu schliessen.

Geschichtliche und praktische Bemerkungen über Betäubung bei Augenoperationen.

Schon seit uralter Zeit hat man gelegentlich[2]) versucht, die Empfindlichkeit des Kranken bei den Operationen zu verringern. Aber erst das neunzehnte Jahrhundert tödtete den Schmerz.

---

1) Austritt des Glaskörpers, ja selbst der Netzhaut, so dass der Augapfel sogleich oder später entfernt werden muss.

2) Die alten Aegypter kannten den Schlaftrunk und die berauschende Kraft der Alraunwurzel, die sie vielfach in der Heilkunde verwendeten. (Aegyptisch d̓-d̓, hebr. dudaim, griech. *μανδραγόρας*, bei Linné Atropa Mandragora.)

Von den alten Griechen erwähnt Dioscorides die wundärztliche Betäubung mittelst der Alraunwurzelabkochung.

Πεδανίου Διοσκορίδου περὶ ὕλης ἰατρικῆς Δ, ος' (Edit. Curt. Sprengel, B. I, p. 570—571): *Μανδραγόρας . . . ἔνιοι δὲ καθεψοῦσιν οἴνῳ τὰς ῥίζας ἄχρι τρίτου καὶ διϋλίσαντες ἀποτίθενται, χρώμενοι ἐπὶ τῶν ἀργύπνων καὶ περιοδυνιώντων κυάθῳ ἑνὶ, καὶ ἐφ' ὧν βούλονται ἀναισθησίαν τεμνομένων ἢ καιομένων ποιῆσαι.* Und zwei Seiten weiter (I, 573):

Ἱστοροῦσι δὲ καὶ ἑτέραν μόριον λεγομένην . . . . ἣν φασι πινομένην ὅσον <α', ἢ μετὰ ἀλφίτων ἐσθιομένην ἐν μάζῃ ἢ ὄψῳ ἀποκαροῦν· καθεύδει γὰρ ὁ ἄνθρωπος ἐν ᾧπερ ἂν φάγοι σχήματι, αἰσθανόμενος οὐδενὸς ἐπὶ ὥρας γ' ἢ δ', ἀφ' οὗπερ ἂν προσενέγκηται· χρῶνται δὲ καὶ ταύτῃ οἱ ἰατροὶ, ὅταν τέμνειν η καίειν μέλλουσι.

Vgl. Plin. sec., nat. hist., l. XXV c. 13. s. 94 (Ed. Sillig, IV, 150. (Mandragorae) . . radices tunsae vel in vino nigro ad tertias decoctae . . Vis somnifica pro viribus bibentium: media potio cyathi unius. Bibitur et contra serpentis et ante sectiones punctionesque, ne sentiantur; ob haec satis est aliquis somnum odore quaesisse.

Drei Zeitabschnitte sind zu unterscheiden. Der erste reicht von den ältesten Zeiten bis gegen die Mitte unseres Jahrhunderts, d. h. bis zur Einführung der allgemeinen Betäubung mit Schwefeläther und mit Chloroform. Der zweite reicht von da bis zum Jahre 1884, d. h. bis zur Einführung der örtlichen Betäubung des Auges durch Cocaïneinträufluug. In dem dritten Abschnitt leben wir jetzt noch.

I) Haben sich vor Einführung der Betäubung Uebelstände herausgestellt, die von der Empfindlichkeit der Kranken bei Augenoperationen abhingen? Ohne jeden Zweifel, obschon die älteren Wundärzte, im Anfang unseres Jahrhunderts, da sie von der Möglichkeit einer sicheren Betäubung keine rechte Vorstellung hatten, dies nicht ausdrücklich hervorheben. Aber sie sprechen von der Nothwendigkeit, die einmal beschlossene Operation sofort auszuführen, da die Aengstlichkeit der Kranken von Tag zu Tag, ja von Stunde zu Stunde zunehme. (Beer.)

Sie sprechen davon, dass man angeborene oder sehr früh erworbene Pupillensperre nicht ordentlich operiren könne. Waren die Kranken noch jung, ihre Netzhaut noch empfindlich; so hielten sie nicht still. Waren sie älter und vernünftiger geworden; so vereitelte die durch Nichtgebrauch des Auges verursachte Abstumpfung der Netzhaut[a]) den Erfolg für die Sehkraft. (Pieringer.)

a) Amblyopie.

II) Als dann gegen die Mitte unseres Jahrhunderts die so segensreiche Betäubung mit Schwefeläther und mit Chloroform eingeführt worden,[1]) theilten sich die Augenärzte in drei Parteien mit ganz verschiedenen Grundsätzen.

1) Die eine verabscheute die Betäubung bei allen inneren Augenoperationen und auch bei der Mehrzahl der äusseren. Eine Star-Operation sei weder so langwierig, noch so schmerzhaft, um Betäubung zu erheischen; ja man könne dazu gar nicht narcotisiren: wenn der Leiter der Narcose die Fortsetzung entschieden verweigere, wäre das Auge, durch krampfhafte Zusammenziehung der Muskeln, ganz nach oben gerollt.

Nun dann ist es gerathen, einen andern Leiter der Narcose anzustellen. Zu den typischen Augenoperationen muss man, wenn überhaupt, sehr tief narcotisiren, — bis das Kneipen der Augapfelbindehaut aufgehört hat, irgend welche Reflexbewegung auszulösen; bis, zum Zeichen des tiefen Schlafes, die Pupille, wenn sie frei war von krankhaften Störungen und arzneilichen Einwirkungen, eine deut-

---

Merkwürdig ist, dass die schlafmachende Wirkung der M. bei den alten Griechen und Römern zwar allgemein, auch den Nichtärzten, bekannt und sogar sprüchwörtlich gewesen; dass aber die chirurgische Betäubung mittels dieser Pflanze ausser bei Dioscorides und Plinius nirgends wieder erwähnt wird. — Auch örtliche Betäubung war den Alten bekannt. (Dioscorid. m. m. V. 158 u. Plin. XXXVI, 7, 56.) — Im Mittelalter blieb Mandragora in Gebrauch (und Schierling), auch zur Einathmung vor der Operation. Die Anwendung geschah selten, wegen der Gefahren.

Ebenso vereinzelt blieb die Einathmung von Aether (Pearson, 1795; ferner Faraday) und von Lachgas (Davy, 1800) um die Wende unseres Jahrhunderts.

1) Aether 1846 von den Amerikanern Jackson und Morton, Chloroform 1847 von dem Schotten Simpson.

Vgl. noch Jüngken, Chloroform bei Augenoperat. 1850.

Jacobson, Mitth. aus der Königsberger Augenklinik.

Hirschberg, Anaesth. b. Augenop., 1884. Berl. klin. W

Baudry, de l'anesthésie en chirurg. ocul. 1885.

liche und erhebliche Verengerung[1]) zeigt: dann haben die krampfhaften Bewegungen der Halbbetäubung aufgehört; die Augenachsen sind, höchst bequem für die Operation, in nahezu parallelen Richtungen geradeaus gerichtet. Dass diese tiefe Betäubung bei Kindern nicht herbeizuführen oder gefährlich sei, kann ich nicht bestätigen.

Arlt[2]) und Zehender widerrathen die Narcose bei Star-Operation wegen des Erbrechens und der krampfhaften Muskelbewegungen. Ich muss Jacobson's Widerlegung dieser Gründe beipflichten: das Erwachen aus wirklich tiefer Betäubung erfolgt langsam und ruhig; das Erbrechen ist unangenehm, aber nicht gefährlich, wenn man mit einem Wattebausch einen sanften Druck auf den Augapfel ausübt oder einen vorläufigen Verband anlegt.

Ganz ohne Betäubung wurde der Star ausgezogen in Oesterreich, der Wiege der neueren Augenheilkunde; und ziemlich ohne Chloroform, soweit A. v. Graefe's unmittelbarer Einfluss reichte.

Waren nun durch das vollständige Vermeiden der Betäubung Nachtheile zu beobachten?

Allerdings! Unsinnige sind nicht blos in Irrenanstalten. Ich sah, wie einem der geschicktesten Star-Aerzte der Star-Schnitt völlig misslang, da das Bauernweib gegen den Eingriff ankämpfte, wie ein nicht redendes Wirbelthier. Vollends schien es mir völlig zeitwidrig, sogar an Kindern die Betäubung zu unterlassen. Der Eine versetzte einem Knaben, zur Iridectomie wegen Schichtstar, eine fürchterliche Ohrfeige; der zweite sandte schielende Kinder fort; der dritte bediente sich eines riesenstarken Gehilfen, welcher den Kopf der Kranken mit seinen Händen wie in einem Schraubstock hielt, auch bei der schmerzhaften Ausschälung des Augapfels.

Alles dies habe ich auf meinen Reisen mit eignen Augen gesehen.

2) Die zweite Gruppe der Augenärzte operirte nur unter Betäubung. Hierzu gehörten die Amerikaner und die Engländer. In London erschien (1877) die Betäubung fast als chirurgische Ergänzung der Habeascorpusakte; ich sah keine Star-Operation ohne Betäubung. Aether wird von Engländern und Amerikanern für sicherer gehalten, als Chloroform; gewiss ohne Grund. Aether[3]) ist für Augenoperationen weniger gut, da es Congestionen nach dem Kopf und Blutungen begünstigt.

In Deutschland hat Jacobson die Ausführbarkeit[4]) der Betäubung bei den Augenoperationen in der glänzendsten Weise dargethan, da er in 26 Jahren unter 10 000 Narcosen keinen unglücklichen[5]) Verlauf zu verzeichnen

---

1) Plötzliche Erweiterung der im Chloroformschlaf verengten Pupille bedeutet Gefahr; augenblicklich muss man die künstliche Athmung einleiten; hierdurch ist binnen einer Minute meistens die Gefahr beseitigt.

2) „Personen, welche vernünftigen Zureden vor und bei der Operation nicht zugänglich sind, werden das nach der Operation nothwendige Verhalten nicht inne halten." Dies wird widerlegt durch die Star-Operation unheilbarer Geisteskranker (in der Anstalt), bei denen ich mit oder ohne Zwang gute Heilungen erzielt habe.

3) Wenn man zu brennen hat, kann der Aetherdampf sich leicht entzünden!

4) Die Nothwendigkeit derselben ist von einigen seiner Schüler behauptet worden, aber mit Unrecht.

5) König erlebte bei 7000, Nussbaum bei 15 000 Chloroformbetäubungen kein Unglück. — Baudry hat 50 Todesfälle bei der Narcose für Augenoperationen gesammelt. Es ist möglich, dass einzelne Augenärzte nicht die nöthige Uebung und Erfahrung im Narcotisiren erworben hatten; es ist wahrschein-

hatte. Beseitigung des Schmerzes und Vermeiden der üblen Zufälle bei Operationen waren seine Ziele.

3) Die dritte Gruppe von Augenärzten verhielt sich auswählend gegenüber der Narcose. Zu diesen gehörte ich selber. Ich hatte begonnen, wie ich es bei meinem Lehrer A. v. Graefe gesehen: Kinder und Willenlose betäubt; Erwachsene zu den schmerzhaften Eingriffen, jedoch zum Star-Schnitt nur ausnahmsweise.

Nachdem ich 1877 in England die regelmässige Narcose bei Star-Operation beobachtet, habe ich den Versuch, ob dadurch bessere Erfolge zu erzielen sind, $1^1/_2$ Jahr lang fortgesetzt, bis ich mich überzeugte, dass dem nicht so ist.

Im besonderen Einzelfall kann die Betäubung Vortheile bieten; im ganzen aber wurden die Vortheile durch anderweitige Nachtheile wieder aufgehoben. (Zu den Chloroform-fürchtern gehöre ich nicht; ich habe einige Tausend Augenoperationen unter Chloroformbetäubung ausgeführt, — bisher ohne jeden Unglücksfall.)

Die lästigen Zufälle bei der Operation unter Narcose sind dreifacher Art: 1) Brechbewegungen, die allerdings nur selten auftreten, wenn man einerseits vorher die Nahrungsaufnahme genau geregelt hat,[1]) andrerseits chemisch reines Chloral-Chloroform[2]) anwendet. 2) Unterbrechung des künstlichen Schlafes, vor Beendigung der Operation, trotzdem man die letztere erst nach dem Eintritt tiefer Betäubung begonnen hatte. — Man muss bei 1 und 2 einen vorläufigen Verband anlegen und weiter betäuben. 3) Aufhören der Athmung. Hier muss man schleunigst das Auge durch Verband schützen und künstliche Athmung einleiten.

Diese Unfälle halten den bei Nichtbetäubten vorkommenden Störungen der Operation das Gleichgewicht, zumal die letzteren durch fortgesetzte Uebung und Erfahrung und grössere Kaltblütigkeit immer sicherer parirt werden können.

Der Hauptzweck der Augenoperation, Erhaltung und Wiederherstellung des Sehvermögens, ist bei vernünftigen Erwachsenen fast immer ohne Betäubung zu erzielen. Allerdings kann in dem entscheidenden Augenblick ein ganz unzweckmässiges Verhalten des Kranken gelegentlich den Erfolg der Operation vereiteln. Auf Worte, auch auf die stärksten Versicherungen des scheinbar gebildeten und muthigen Mannes[3]) soll man sich nie verlassen. Entscheidend ist für mich seit vielen Jahren allein der unmittelbare Versuch: Tags vor der Star-Operation wird der Lidsperrer eingelegt und damit die Drehung des Auges nach oben und nach unten eingeübt.[4]) Die grösste Mehrzahl der Erwachsenen bestehen die Probe. Aber der einzelne vollständig willenlose, geisteskranke oder auch scheinbar gesunde, der

---

lich, dass die tiefe Betäubung von 70 und 80jährigen zur Star-Operation doch nicht ganz frei von Gefahren sein dürfte. Aber die Unglücksfälle bei Kindern sind zahlreicher, als die bei Greisen!

1) Morgens, drei Stunden vor der Operation, eine Tasse Kaffe oder Milch ohne Zubrod. Kinder sind ganz besonders vor Magenüberfüllung zu bewahren.

2) Auch Pictet's durch Gefrieren gereinigtes Chloroform habe ich verwendet: es wirkt wie das andere.

3) Es kommt viel darauf an, ob die Menschen gebildet oder ungebildet, aufgeregt oder träge sind. Aufgeregte Barbaren sind am schwersten zu handhaben.

4) Mit vollständig tauben Menschen oder mit solchen, deren Sprache man gar nicht versteht, ist vorher eine Zeichensprache einzuüben: z. B., klopft der Arzt auf die Stirn; so blickt der Kranke nach oben u. s. w.

gegen das Einlegen des Sperrers sich sträubt wie eine Wildkatze, muss zur Staroperation betäubt werden; ebenso ein Mensch mit sehr starkem Glotzauge, heftigem Lidkrampf und dergl. (Es waren etwa zwei vom Hundert.)

Die schönste Gesammtstatistik, die der Wundarzt bei Nichtbetäubung erhält,[1]) befriedigt den Einzelfall nicht, der hierbei gerade schleehter fährt. Darum soll man dem absoluten Wunsch des Kranken nach Betäubung sieh nicht widersetzen, wenn man nicht Grund hat, besondere Gefahren von derselben zu befürchten.

III. Nunmehr komme ieh zu dem dritten und letzten Zeitabsehnitt, dem der örtlichen Betäubung durch Einträuflung einer zweiprozentigen Lösung von salzsaurem Cocaïn. Das Mittel, das uns Dr. Koller aus Wien im Sept. 1884 gelehrt, hat bei der praktisehen Anwendung allen vernünftigen Erwartungen entsprochen und die geringe Zahl der zur Altersstar-Ausziehung nothwendigen Nareosen noch erheblich weiter eingesehränkt. Die Einträuflung von Coeaïn gehört zu den grössten Errungenschaften der neueren Augenheilknnde.

Ich selber habe bei tausendfacher Anwendung immer nur Vortheil, niemals aber Nachtheil davon beobaehtet. Zur Verwendung gelangt für jeden Operationsfall ein neues, geschlossenes Fläsehehen einer zweiprozentigen Lösung des salzsauren Cocaïn, das durch strömenden Wasserdampf keimfrei gemaeht ist.

Mittels eines keimfreien Tropfgläsehens wird vor der Operation drei Mal, immer nach ein bis zwei Minuten, reiehlieh über die Hornhaut und in den Bindehautsack geträufelt. Der Kranke hält zwisehen den Einträuflungen die Lider gesehlossen, um Vertrocknung der Hornhautoberfläehe zu vermeiden. Die Unempfindlichkeit der Horn- und Bindehaut ist eine vollständige, für die kurze Dauer der Augenoperation. Wird der Star-Schnitt ohne Iris-Aussehneidung vollendet, so fühlen die Kranken überhaupt niehts von der Operation, jedenfalls keinen Sehmerz. Wird ein Stüekehen der Regenbogenhaut mit ausgesehnitten, so hat der Kranke in diesem Augenblick einen unbedeutenden Sehmerz. Alle Hornhaut-Operationen sind unter Cocaïn ganz schmerzlos; die Pupillenbildung weniger empfindlieh. Aber diejenige, welehe zur Druekherabsetzung verrichtet wird, erheischt bei heftiger Entzündung des Auges und starker Schwellung der gerötheten Augapfelbindehaut doch in der Regel das Chloroform.

Denn die Druekssteigerung ist gross, und auf die entzündete Bindehaut wirkt Cocaïn nur wenig.

Darum bleibt auch beim Ausbrennen des Hornhautabseesses unter Cocaïn das Fassen der Bindehaut denn doch sehmerzhaft, während das Brennen der Hornhaut schmerzfrei ist. Bei der Sehieloperation wird durch Cocaïn der Sehmerz verringert, aber nicht völlig beseitigt. Das Gleiche gilt von der Ausschälung des Augapfels, wo man zwei Gramm der Lösung unter die Augapfelbindehaut nach den vier verschiedenen Richtungen hin einspritzt. Doch ist hierbei die Narcose oft vorzuziehen und meist unbedenklich.

Bei Kindern soll man immer narcotisiren, wenn nieht ein besonderer Hinderungsgrund vorliegt.[2]) Regelrechte Operation ist die Hauptsache. Angeborene

1) Hasket Derby hatte bei 100 Star-Ausziehungen mit Aether neun Verluste, bei 100 ohne Aether einen. Doch ist diese Zahlenreihe viel zu klein.

2) Allerdings habe ich bei artigen Kindern, von 5—6 Jahren, deren Vertrauen ich durch Freundlichkeit und Chokolade gewonnen, zufallsfrei die Kapselspaltung verrichtet; aber Pupillenbildung und Linsenausziehung soll man bei Kindern ohne Betäubung nicht ausführen.

oder früh erworbene Pupillensperre erheischt frühzeitige Wiederherstellung, sonst verfällt das Auge durch Nichtgebrauch in unheilbare Sehschwäche.

C. Das Eigenartige der Augenoperationen.

Augenoperationen können heutzutage nicht mehr, sowie früher, mit einem geheimnissvollen Schleier umhüllt werden. Erlernen kann sie Jeder. Der Künstler wird geboren. Die Regeln sollen vereinfacht und auch einfach dargestellt werden. Nicht mehr handelt es sich um Kunststückchen, sondern um Kunstübungen. Misstrauisch sei man gegen solche Operationen, welche von ihrem Erfinder sofort als Sondergebiet der ausnahmsweise begabten Wundärzte gekennzeichnet werden.

Allerdings, mit zwei linken Händen kann man die zarten Eingriffe, welche hier in Betracht kommen, nicht ausführen. Im Gegentheil, die eine linke Hand, die wir von Natur oder Gewöhnung besitzen, muss sorgsam geübt werden. Dies ist uralte Weisheit.[1])

Besonders bei der „subtilen“[2]) Star-Operation sollte nach der Meinung der alten Griechen das rechte Auge nur mit der linken Hand, das linke mit der rechten operirt werden.[3]) Aber sie waren gescheut genug, wenigstens zuzulassen, dass auch das rechte Auge mittelst der rechten Hand operirt werde.[4]) Dieselbe Regel, den Star-Schnitt am rechten Auge mit der linken Hand zu verrichten, gaben die Klassiker unseres Jahrhunderts, namentlich aus der Wiener Schule;[5]) aber

---

1) Schon Hippocrates verlangte, dass der Chirurg beide Hände einübe. *κατ' ἰητρεῖον*, (Littré's Ausg., III, S. 288): *τὰ ἔργα πάντα ἀσκέειν ἑκατέρῃ δρῶντα, Καὶ ἀμφοτέρῃσιν ἅμα (ὅμοιαι γάρ εἰσιν ἀμφότεραι), στοχαζόμενον ἀγαθῶς, καλῶς, ταχέως, ἀπόνως, εὐρύθμως, εὐπόρως.* — Cels. d. med. VII. praef. Esse autem debet Chirurgus . . . non minus sinistra quam dextra promptus. — Also ist es nicht erst Heister gewesen, der dem Wundarzt Ambidextrie zu Pflicht gemacht.

2) Cels. VII, 7, 13. Sed ubi (suffusio) vetustior facta est, manûs curationem desiderat: quae inter subtilissimas haberi potest.

3) Cels. VII, 7. 14. Curari vero sinister oculus dextrâ manu, dexter sinistrâ debet. Paull. Aeg. (nach Galen; Ausg. v. Briau, S. 134): *ἐπὶ δὲ τοῦ δεξιοῦ τῇ εὐωνύμῳ.* Der Arzt sass vor dem Kranken und stach die Star-Nadel von der Schläfenseite her in die Lederhaut des Auges ein.

4) Galen, Band XVIII b, S. 716: *τῇ δεξιᾷ τὸν δεξιὸν ὀφθαλμὸν παρακεντεῖν.* Cels. VII, 7. 4. — In unserem Jahrhundert hat Malgaigne verlangt, dass der Wundarzt den Star des rechten Auges, hinter dem Kranken stehend, mit der rechten operiren soll. Für Lidoperationen war ihm C. Graefe schon zuvorgekommen. (Die aegypt. Augenblennorrhöe, Berlin 1823, S. 129.)

5) Beer, Augenkr. II, 350. „Das rechte Auge muss immer mit der linken, so wie das linke mit der rechten Hand operirt werden; wer sich nicht gleiche Kunstfertigkeit beider Hände aneignen kann, bleibt ewig nur Stümper.“

Arlt, Kr. d. A., 1853, I, S. 306.

die Weiseren[1]) unter ihnen haben zugelassen, dass diejenigen Aerzte — und es sind die meisten, — welche das Messer nur mit der rechten Hand sicher zu führen vermögen, zu diesem Behuf für die Operation des rechten Auges hinter den Kopf des Kranken treten.

In der That, der Kranke hat keinen Vortheil davon, dass der Star-Schnitt an seinem rechten Auge von der linken Hand des Arztes ausgeführt werde; die Zeit ist vorüber, wo man aus Gefallsucht oder falscher Ueberlegung technische Schwierigkeiten schuf.[2])

Immerhin bleibt es nach meiner Ueberzeugung eine nützliche Uebung für den angehenden Arzt, die natürliche und anerzogene Ungeschicktheit der linken Hand zu überwinden, so dass sie, wenn auch nicht das Star-Messer, so doch wenigstens ein zartes Zänglein oder Scheerchen kunstgerecht zu führen lerne.

Ausserdem ist es unerlässlich, die hauptsächlichen Augenoperationen, namentlich Star-Schnitt und Pupillenbildung, am lebenden Thierauge einzuüben und wieder zu üben: sonst wird man erst auf Kosten seiner Mitmenschen operiren lernen. An herausgeschnittenen Schweinsaugen, die in Masken befestigt werden, kann man höchstens das Gröbere sich aneignen, die Haltung der Instrumente und die Reihenfolge der einzelnen Akte: die Häute des Schweinsauges sind zu dick, der Augapfel schlaff und abgestorben; eine leichte Hand wird man durch solche Versuche nicht bekommen.

Weit besser sind die Augenoperationen am lebenden, aber betäubten Kaninchen.[3]) Ueber diese habe ich eine mehr als zwanzigjährige Erfahrung[4]) und rathe sie jedem auf's dringendste an, der Augenoperationen an Menschen zu verrichten beabsichtigt. Der angehende Arzt vergesse nicht, für die Kaninchen besondere Werkzeuge zu halten! Die weissen Kaninchen sind die besten; auch sollen sie nicht zu klein sein. Unter einer grossen Glasglocke wird das Thier mit Hilfe eines (aufgehängten oder hineingelegten) grossen, in Schwefeläther getränkten Schwammes vollkommen betäubt, und dann der Augapfel durch Hebeldruck, etwa mittels einer Pincette, nach vorn luxirt, so dass man Star-Schnitt oder Pupillenbildung auf das bequemste ausführen kann.

Das Auge ist lebendig und normal gespannt; es blutet bei Gefässverletzung. Der Anfänger kann alle Fehler, die er macht, genau beobachten und — durch Uebung vermeiden.

1) Arlt, Operationslehre, Graefe-Saemisch, III, S. 267. (1874).
2) A. v. Graefe, Arch. f. O. XII, 1, 157; 1866.
3) Schon von Ammon empfohlen.
4) Deutsche Zeitschr. f. pr. Med. 1877, Nr. 27 bis 31.

Diese Uebungen sind von grösstem Nutzen für die Menschheit, für die Thiere übrigens schmerzlos und oft sogar unschädlich; jedenfalls dürfen sie nicht als Vivisection[1]) bezeichnet werden, und sollten nicht, wie in England, gesetzlich verboten sein.

Nebst der richtigen und zarten Ausführung der Augenoperationen kommt die reinliche Wundbehandlung in Betracht, von der wir schon gesprochen.

Das operirte Auge ist kunstgerecht zu verbinden[2]) und dadurch ruhig zu stellen.

Ein keimfreier Bausch von Watte, etwa von Faustgrösse, wird auf der einen Seite mit reiner Lösung von Sublimat-Augenwasser getränkt[3]) und mit dieser Seite auf die sanft, aber vollkommen geschlossenen Lider[4]) gelegt, und darüber die Binde aus sterilisirtem Florgewebe, fünf Meter lang, fünf Ctm. breit. Zwischen Ohrläppchen und Unterkieferwinkel drückt man den Bindenkopf an, geht schräg empor zum Nasenwinkel des Auges, dann rings um die Stirn und steigt über das Hinterhaupt herab zum Bindenkopf; die zweite Windung deckt dachziegelförmig die halbe Breite der ersten und steigt etwas steiler an: mehr noch die dritte und, wenn nöthig, eine vierte.

---

1) Hysterische Frauen und Männer könnten sich ein anderes Feld der Barmherzigkeit suchen, aber nicht die ernste, menschenfreundliche Thätigkeit des Arztes stören.

Das Gesetz „for prohibition of cruelty against animals" ist ein psychologisches Räthsel. Verminderung von „cruelty against men" stellt eine würdigere Aufgabe dar — für alle Nationen.

2) A. v. Graefe, A. f. O. IX, 2, 111, (1863) u. XII. 1. 182. (1866). — Bereits Hippocr. (Ausg. v. Littré, III. 292,) kannte den Augenverband, unter dem Namen ὀφθαλμός, — wofür die Deutschen heutzutage Monoculus sagen. Ebenso Galen, B. XVIIIb, 732. — Celsus (VII, 7, 14) empfahl ihn bereits nach der Star-Operation. Kein Wunder, dass die späteren Griechen, die Araber und die Europäer des Mittelalters, sowie die Wundärzte der Neuzeit vielfach davon handeln. Nach dem Star-Schnitt wurde er bereits von Daviel (1750) eingeführt, methodisch jedoch erst von Sichel (1853) und von A. v. Graefe. Aber veraltet sind schon heute, nach einem Menschenalter, jene allzukünstlichen Vorschriften, welche lediglich die mechanische Lagerung der Wunden, nicht ihre Reinheit als massgebend für die Heilung voraussetzten.

Der Vorschlag eines amerikanischen Fachgenossen, das mittelst Star-Schnitts operirte Auge nicht zu verbinden, ist weder neu noch nachahmenswerth. Jede Operationswunde muss geschützt werden, vollends die an einem so zarten Organ.

3) Die Befeuchtung ist dem Kranken angenehm. — Allerdings vermeiden die Wundärzte heutzutage feuchte Verbände auf eiternder Wundfläche, weil dadurch die Bakterien-Entwicklung gefördert wird: aber dies ist doch ein ganz anderer Fall, als eine Augenoperation, die keine Wundabsonderung liefert.

4) Ein Leinwandläppchen, um das Eindringen von Baumwollfäden zu verhüten, ist ganz überflüssig.

Mit reinen Stecknadeln wird das Ende der Binde befestigt, ebenso die beiden Schläfentheile und der Anfang. Die Binde muss gleichmässig abgerollt, aber durchaus nicht festgeschnürt werden. Das Auge verträgt keinen Druck, vor allem keinen Schnürverband. Die Auspolsterung der Grube um den Augapfel hemmt sanft, mittelst des geschlossenen Oberlids, die Drehbewegungen des Auges.

Bei allen verantwortlichen Operationen und ernsten Verletzungen des Auges empfiehlt sich noch das Folgende: 1) Dem Kranken wird eine frisch gewaschene und geplättete Frauen-Nachtmütze[1]) aus Leinwand aufgesetzt und die Bänder unter dem Kinn geknüpft, weil dann der Verband besser sitzt. 2) Eine gestärkte Binde, durch trockne Hitze sterilisirt und soeben in Sublimatwaschwasser 1:1000 eingetaucht, bis sie weich geworden, wird über den gewöhnlichen Verband gelegt: das giebt einen erhärtenden Verband, der die ganze Augengegend vollkommen abschliesst, und der von dem Kranken nicht so leicht zerstört werden kann. Hiervon mache ich bei allen Staroperationen und dergl. Gebrauch. Ferner bei der Einpflanzung stielloser Lappen, wo ich den gutangelegten, festsitzenden Verband etwa acht Tage lang liegen lasse. 3) Für zwei bis drei Tage ist auch das zweite Auge leicht zu verbinden, damit jeder Antrieb zu Augenbewegungen und jede Zerrung des verletzten Auges fortfalle.

Zur Abnahme wird der Verband zerschnitten und — verbrannt: dann braucht man sich behufs seiner Reinigung nicht erst den Kopf zu zerbrechen. Zu jedem neuen Verband werden frische, ganz zuverlässige Sachen verwendet.

Man kann auch mit einer Binde beide Augen decken.[a]) Sind zwei Windungen über das erste Auge gelegt, so steigt man von der Stirn schräg über das zweite Auge herab. Hiervon mache ich meistens nur bei ganz kleinen Kindern Gebrauch, deren haarloser Kopf übrigens durch ein frisch gewaschenes Mützchen zu decken ist, damit die Binde Halt finde.

a) Binoculus.

Ausser bei den Augenoperationen und Verletzungen ist der Verband auch bei verschiedenen Erkrankungen des Auges angezeigt, namentlich bei Abscessen und Geschwüren der Hornhaut, welche zur Durchbohrung neigen; ganz besonders aber bei denjenigen, welche durch Vordrängung des Augapfels, durch Vertrocknung der Hornhaut, durch Lähmung des fünften Hirnnerven[b]) hervorgerufen werden.

b) Keratitis neuroparalytica.

1) Jederseits ist ein senkrechter Schlitz für das Ohr angebracht, damit dieses nicht unter dem Verband gedrückt werde. Bei Kahlköpfen sind solche Mützen unerlässlich.

Auch der angehende Arzt, welcher noch nicht viel mit Augenoperationen zu thun hat, wird durch regelrechten Verband in geeigneten Fällen seinen Kranken erheblichen Nutzen leisten können.

Ausser dem Schlussverband giebt es noch einen Schutzverband. Ist ein Auge von ansteckendem Eiterfluss der Bindehaut[a]) heimgesucht; so schützen wir das zweite durch einen Verband, der undurchdringlich ist für Flüssigkeiten. Die Augenhöhlengrube wird flach mit keimfreier Verbandwatte ausgepolstert, hierüber kommt ein Blättchen von gereinigtem Stanniol oder Gummistoff, darüber ein passend geschnittenes Leinwandstückchen, dessen Rand mit Collodium befestigt wird: schliesslich wird Collodium schichtweise auf die Aussenfläche der Leinwand und einen 5—10 Mm. breiten Streifen der benachbarten Gesichtshaut aufgetragen.

a) Augentripper, Blennorrhoea.

Noch besser ist es, aus einer muschelförmigen Glimmerschutzbrille die eine Glimmerplatte nebst Fassung zu nehmen und gegen ein gefenstertes Stück Heftpflaster zu kleben und mit dem letzteren, unter Zuhilfenahme von Collodium, die Augengegend zu bedecken. Der Kranke sieht genug, um sich zu führen; der Arzt, um beruhigt zu sein. Allerdings beschlägt die Glimmerplatte mit Feuchtigkeit, doch hat dies seine natürliche Grenze.

Das Anlegen und die tägliche Erneuerung des Schutzverbandes muss mit der nöthigen Vorsicht geübt werden, dass jede Berührung des gesunden Auges mit dem Eiter des kranken ausgeschlossen werde.

Bei vernünftigen Erwachsenen hat mir der Schutzverband stets seinen Zweck erfüllt. Schwieriger ist die Aufgabe bei unruhigen, sich sträubenden Kindern. Vollends bei Säuglingen, bei denen ich meist auf den Schutzverband verzichte, einmal weil der Eiterfluss des Neugeborenen durch unsere Behandlung sicher beherrscht wird, weit sicherer, als der Augentripper der Erwachsenen; sodann weil bei den ganz kleinen Kindern der Schutzverband doch nicht fest sitzt. Am meisten empfiehlt sich noch, bei diesen ein wenig Verbandwatte auf das Auge zu legen und darüber ein passendes Stück gutklebenden Heftpflasters mit kurzen Einschnitten an den vier Ecken.

Dritter Abschnitt.

Die Untersuchung der Augenkranken.

A. Vorbemerkungen.

Wer Krankheiten heilen will, muss sie erkennen.

Die Diagnose einer Augenkrankheit ist erst dann vollständig, wenn einerseits die Abweichung des Sehorgans von der Regel, andererseits der Zustand des Organismus festgestellt ist. Den letzteren muss man kennen, sogar wenn das Augenleiden ein selbständiges ist; noch mehr, wenn es von der Beschaffenheit anderer Organe oder des ganzen Körpers abhängt.

Das Auge ist das Werkzeug des Gesichtsinnes. Mittelst desselben erkennen wir die Gestalt, Farbe, Grösse, Entfernung, Lage und Bewegung der äusseren Körper, sei es dass sie Licht ausstrahlen oder durchlassen oder zurückwerfen. Der Augapfel ist paarig, rechts wie links, symmetrisch von der Mittelebene des Körpers in der knöchernen Augenhöhle belegen; und besteht aus zwei Haupttheilen, dem lichtsammelnden (Hornhaut, Crystalllinse, Glaskörper) und dem lichtempfindlichen (Netzhaut). Eine feste Hülle (Horn- und Lederhaut) umgiebt den kugeligen Augapfel. Vier grade und zwei schiefe Muskeln bewegen ihn, so dass jeder Zeit der Mittelpunkt der Netzhaut (die Grube[a]) dem zu fixirenden Lichtpunkt entgegengedreht werden kann. Zwei Lider, ein oberes und ein unteres, an der Innenfläche mit Schleimhaut bekleidet, beschützen ihn. Zum Sehen genügt schlimmsten Falls auch ein Augapfel.

a) fovea.

Die Augenkrankheiten beruhen auf Entzündung und Entartung der Theile, auf Neubildung, auf Einwanderung pflanzlicher wie thierischer Gäste sowie auf gestörter Leistung[1]) des Sehwerkzeuges.

1) Auch diese Störung ist immer von stofflichen Veränderungen gewisser Theile des Sehwerkzeuges abhängig, aber von so feinen, dass wir oft ausser Stande sind, sie genauer zu beschreiben.

Die wesentliche Leistung des Auges ist das Sehen. Deshalb beginnen wir mit einer Betrachtung der Sehstörungen und der Mittel, sie zu erkennen, d. h. mit einer Umgrenzung unseres Erkenntnissvermögens.

B. Ueber Sehen und Sehstörung.

Wenn wir einen lichtaussendenden Gegenstand deutlich sehen, so wird durch den lichtsammelnden Theil unseres Auges (das Doppelobjectiv aus Hornhaut und Crystalllinse) ein umgekehrtes, verkleinertes, der Gestalt und Farbe nach ähnliches Bild dieses Gegenstandes auf der lichtempfindlichen Netzhaut entworfen, die dadurch entstehende Reizung durch die Sehnervenfasern fortgeleitet und dem Gehirn, dem Ort der Lichtwahrnehmung, übermittelt.

Nachdem wir die Bedingungen des naturgemässen Sehens kennen gelernt, verstehen wir auch sofort die Ursachen der Sehstörung.

Es giebt und kann überhaupt nur vier Arten der Sehstörung geben:

I. Dioptrische Sehstörung.

Das Netzhautbild kommt entweder gar nicht, oder doch nur mangelhaft zu Stande, weil die lichtbrechenden Theile des Auges verändert sind: sei es, dass die regelmässige Krümmung ihrer Begrenzungsflächen, sei es, dass ihre Lage zu einander oder zu dem lichtauffangenden Schirm geändert ist, sei es, dass ihre Durchsichtigkeit gelitten hat.

a) Cataracta.

Ein einfaches Beispiel dieser Art ist der graue Star[a] d. h. Trübung der durchsichtigen Crystall-Linse.

Die ausgeprägten Fälle erkennt der Arzt sofort beim blossen Anblick: die Pupille des kranken Auges hat nicht, wie die des gesunden, ein schwarzes, sondern ein grauweisses Aussehen.

Bei den zarteren Formen genügt ein Blick mit dem Augenspiegel in die (nöthigenfalls erweiterte) Pupille des Kranken, um die Ursache des Leidens festzustellen. Mit Entzücken berichtet der erste Arzt, welcher über den Augenspiegel des Physiologen Helmholtz geschrieben (Rüte, 1852), wie ungemein leicht er damit den Beginn der Star-Trübung erkenne und das dioptrische Leiden von einem nervösen zu unterscheiden vermöge.

Die dioptrische Sehstörung zeigt verschiedene Gruppen und Grade. Entweder werden die Umrisse der Gegenstände undeutlich, sei es der

fernen oder der allzunahen oder aller; dies geschieht bei Krümmungs- und Lageänderungen der lichtbrechenden Flächen: oder die Gegenstände werden, durch Trübung, verschleiert und schliesslich ganz unerkennbar.

Da aber die stärksten Trübungen des Auges, z. B. vollständige Verdunkelung der Crystalllinse, nicht so ganz und gar undurchsichtig sind, wie etwa eine Metallscheibe; sondern durchscheinend, ungefähr wie eine Hornplatte: so bleibt, wenn die Netzhaut gesund ist, immer noch Lichtwahrnehmung, d. h. Unterscheidung von hell und dunkel, dabei erhalten.

II. Retinale Sehstörung.

Die Netzhaut ist unempfindlich geworden gegen den Lichtreiz. Dies ist der Fall, wenn an der Stelle des Augengrundes, wo das Bildchen des lichtaussendenden Gegenstands entworfen wird, Stäbchen und Zapfen oder überhaupt gesundes Netzhautgewebe nicht vorhanden ist.

Auch diese, die retinale Sehstörung, vermag man unmittelbar, durch die mit dem Augenspiegel nachweisbare Veränderung der Netzhaut, zu erkennen. In der grossen Mehrzahl aller Fälle ist das sehr gut möglich; aber doch nicht immer, wenigstens nicht gleich im Beginn der Sehstörung. Es giebt Vorgänge, welche umschriebene Veränderungen in der Stäbchenschicht setzen und eine entsprechende Verdunklung im Gesichtsfeld des befallenen Auges hervorrufen, ohne dass mit dem Spiegel gleich von vorn herein Veränderungen des Augengrundes nachzuweisen sind: erst nach Wochen (oder Monaten) wird die verborgene Netzhautkrankheit[1]) deutlich durch umschriebene Veränderungen des Pigmentepithels, welche ja der Sehstörung nicht genau zu entsprechen brauchen, da wir nicht mit dem Pigmentepithel sehen, sondern mit den Stäbchen und Zapfen.

Auch die retinale Sehstörung hat verschiedene Gruppen und Grade. Die Stelle der Netzhaut kann zeitweise oder dauernd gestört sein. Sie kann in der Mitte sitzen und dann das scharfe Sehen, z. B. das Lesen, aufheben; oder mehr seitlich, wo sie weniger stört. Sie kann klein oder gross sein, vereinzelt oder mehrfach. Es kann z. B. durch Blutung oder Ablösung ein grosser Theil der Netzhaut auf einmal leistungsunfähig werden. Durch völlige Verstopfung der Schlagader[2]) kann gelegentlich mit einem Schlage, binnen wenigen Minuten,

1) Chorioretinitis latens.

2) Arteria centralis retinae. Es ist eine End-Arterie. Nur durch Haargefässe (Capillaren) besteht eine Verbindung mit dem Aderhaut-Kreislauf.

und für immer, die ganze Sehkraft des Auges, sogar jede Spur des Lichtscheins, vernichtet werden.

III. Nervöse Sehstörung.

Die Sehnervenfaserleitung — von der Netzhaut einerseits bis zu den Endorganen der Gesichtsempfindung im Gehirn andrerseits — ist unterbrochen.

Das einfachste Beispiel wird durch den Thierversuch geliefert, indem wir zwischen Augapfel und Gehirn den Sehnerven durchschneiden. War die Durchtrennung eine vollständige, so ist dauernde und unheilbare Erblindung des betroffenen Auges die Folge. Denn der Sehnerv ist gewissermaassen ein hervorgestülpter Theil des Gehirns, dessen Leitungsfasern, wenn sie einmal durchtrennt waren, niemals sich wiederherstellen: ganz anders wie bei einem oberflächlichen[a] Empfindungsnerven, welcher nach der Durchtrennung vom centralen Ende her wieder auswächst.[1]

peripherischen

Beim Menschen wird gelegentlich durch Unglücksfall eine solche Durchtrennung des Sehnerven bewirkt. Hat dieselbe weit[2] vom Augapfel entfernt stattgefunden, (z. B. durch Knochenbruch in der Gegend des Sehnervencanals, wenn einem gesunden Mann das Rad eines Wagens über den Kopf geht,) so ist das befallene Auge blind und bleibt blind. Aber der Sehnerveneintritt erscheint im Augenspiegelbilde zunächst völlig unverändert und bleibt so für einige Zeit; erst nach sechs bis acht Wochen tritt Abblassung des Sehnerven, Schwund der Nervenfasern,[b] deutlich zu Tage. War die Durchtrennung des Sehnerven näher zum Augapfel erfolgt, z. B. in der Mitte der Orbita,[3] durch einen Rapierstoss; so ist die Erblindung des Auges, genau wie im ersten Fall, von vornherein vor-

b) Atrophia nervi optici.

---

1) Dieses Wiederverwachsen macht sich uns in höchst unliebsamer Weise bemerkbar, wenn wir, zur Beseitigung des Gesichtsschmerzes, einen empfindlichen Ast des fünften Hirnnerven kunstgerecht durchtrennt hatten; oder bei der chirurgischen Durchschneidung der Ciliarnerven[c] hinter dem Augapfel, da der letztere danach auf die Dauer niemals unempfindlich bleibt. — Vor einigen Jahren (1885, Revue générale d'Opht.) wurde empfohlen, einen völlig zerstörten Augapfel des Menschen zu entfernen und danach ein Kaninchenauge einzupflanzen, mit dem Zusatz: la question de la restitution de la vue pourra se poser. Der Vorschlag erinnert an die reizendsten Märchen vom altaegyptischen Heilgott Imhotep und vom altgriechischen Asklepios, sowie an ein Scherzwort A. v. Graefe's. (C. Bl. f. A. 1885. S. 22.)

) Neurotomia opticociliaris

2) Ueber 25 Millimeter. Der gekrümmte Orbitaltheil des Sehnerven misst 24—28 Millimeter.

3) Ueber 15 Millimeter hinter dem Augapfel.

handen; aber die Verfärbung des Sehnerveneintritts wird früher deutlich, schon nach Ablauf einer Woche.

In beiden Fällen ist die vollständige Trennung des Sehnerven schon von vornherein, ehe der Augenspiegel ein bestimmtes Ergebniss liefert, thatsächlich zu erkennen, und zwar durch die Erscheinungen der Pupillenbewegung. Die Pupille der verletzten Seite ist von mittlerer Ausdehnung; sie erweitert sich stark bei Verschluss des gesunden Auges, sie verengt sich gar nicht bei Lichteinfall in das kranke, aber sehr lebhaft bei Bestrahlung des gesunden Auges.[1])

Ist die Trennung des Sehnerven dicht hinter dem Augapfel erfolgt, ohne dass der letztere dabei seine Durchsichtigkeit eingebüsst hat, was nur recht selten vorkommt; so beobachtet man sofort nach der Verletzung, neben der Erblindung des Auges und dem Fehlen der direkten Pupillenzusammenziehung, noch die Störung des Blutkreislaufes in der Netzhaut,[2]) da die sogenannten Centralgefässe der letzteren, welche etwa 12 Mm. hinter dem Augapfel in den Sehnerven eintreten, hierbei ja mit durchschnitten werden.

War die Durchtrennung des Sehnerven, gleichgiltig an welcher Stelle, unvollständig, z. B. nur in der unteren Hälfte; so ist auch die Erblindung unvollständig: es fehlt dem Auge die obere Hälfte des Gesichtsfeldes; nur die untere Hälfte des Sehnerveneintritts wird blasser.

In Uebereinstimmung mit den geschilderten Verletzungen gelten über die von selbst[a]) erfolgenden Leitungsunterbrechungen des Sehnerven die folgenden Gesetze:

a) spontan

1) Es kann neuroptische[3]) oder eigentlich nervöse[4]) Sehstörung im höchsten Grade bestehen, bis zur Aufhebung jedes Lichtscheins, ohne dass von vornherein eine mit dem Augenspiegel sichtbare Veränderung vorhanden zu sein braucht. 2) Andererseits

1) Diese „indirecte Pupillencontraction“ ist ein schier unfehlbares Verfahren, um vollständige Erblindung des einen Auges thatsächlich nachzuweisen. Beim Menschen besteht eben eine Querverbindung zwischen dem rechts- und dem linksseitigen Reflexcentrum (vom Seh- auf den Augenbewegungs-Nerven) in der Vierhügelgegend. (Ganglion habenulae.)

2) Die Schlagäderchen werden unsichtbar, in den Blutäderchen zerfällt die Blutsäule zu kurzen Cylindern, die des sauerstoffhaltigen Blutes beraubte Netzhaut erleidet eine milchige Trübung. Dasselbe Bild beobachtet man bei embolischer Verstopfung der Centralschlagader der Netzhaut, sowie unmittelbar nach dem Tode.

3) Von *νεῦρον*, Nerv; *ὀπτικός* das Sehen betreffend.

4) Nervös ist hier nicht in dem Sinne des Volkes gebraucht.

kann vollständige Erblindung eines Auges, mit Aufhebung jedes Lichtscheins,[a] niemals längere Zeit, sicher nicht viele Monate hindurch, bestehen, ohne dass man am Sehnervencintritt[1]) den Schwund der Nervenfasern deutlich zu erkennen vermag.

a) Amaurosis absoluta.

Behauptet ein Mensch auf einem Auge (oder gar auf beiden!) seit Monaten oder Jahren keinen Lichtschein mehr wahrzunehmen, während der Sehnervencintritt gesund aussieht, und die Pupille auf direkten Lichteinfall sich zusammenzieht: so handelt es sich allemal um erheuchelte Blindheit.[b]

b) Amaurosis simulata.

Diese kann vor der wissenschaftlichen Prüfung heutzutage nicht bestehen. Um den Heuchler zu überführen, muss nur der Arzt klüger sein, als jener.

Schwieriger ist es, die theilweise Lähmung, bezw. den beginnenden Schwund des Sehnerven zu beurtheilen. Im Allgemeinen ist die Abblassung des Sehnervencintritts schon zu erkennen vor dem Beginn der ernsteren Sehstörung. Aber diese Abblassung bedeutet noch nicht Erblindung des Auges, weder für den Augenblick noch für die Zukunft. Es giebt blasse Sehnerven bei guter Sehkraft. Zunächst ist die gelbröthliche Abblassung auszuscheiden, welche in Folge allgemeiner Blutleere[c] auftritt und überhaupt keine Sehstörung nach sich zieht. Sodann kann ein Sehnerv ganz blass bleiben nach vollständig abgelaufener Entzündung, während die Sehkraft entweder dauernd gut bleibt oder doch wenigstens nicht weiter abnimmt, so dass jede Erblindungsgefahr ausgeschlossen ist. Immer ist zur Beurtheilung eines solchen Falles die Entwicklungsgeschichte der Sehstörung und die Prüfung der Sehkraft mit zu Hilfe zu nehmen.

c) Anaemie.

IV. Cerebrale Sehstörung.

Die Endorgane des Sehens, im Gehirn, sind nicht mehr fähig, durch Reizung des Sehnerven angesprochen zu werden.

Dies ist der Fall der Gehirnblindheit, — bezw. der centralen Erblindung, wenn die wirklichen Centren der Lichtwahrnehmung befallen sind.

Das berühmteste Beispiel von Hirnblindheit ist die uraemische, d. h. die im Gefolge eines wirklichen Anfalls (oder auch unter leichteren

1) Vorausgesetzt, dass derselbe sichtbar geblieben. — Sehr merkwürdig ist der Fall des von H. Munk, durch Fortnahme beider Gehirncentren des Sehens, seit einem Jahr vollständig geblendeten Hundes: derselbe hat beiderseits keinen Lichtschein, aber die Pupille verengt sich auf Lichteinfall, der Sehnerv sieht noch roth aus.

uraemischen Erscheinungen) auftretende, doppelseitige Erblindung ohne Augenspiegelbefund, welche binnen drei bis vier Tagen (mitunter schon früher) vollkommen wieder verschwindet.[1])

Wenn beide Sehcentren im Gehirn gelähmt sind, so besteht vollständige Erblindung des Menschen. Ist nur eines der beiden Sehcentren gelähmt, so besteht Halbblindheit, d. h. Nichtsehen der dem ausgeschalteten Sehcentrum entgegengesetzten Hälfte des Raumes.

Das Sehwerkzeug des Menschen ist doppelseitig-symmetrisch. In jeder Hälfte des menschlichen Körpers, der rechten wie der linken, besteht ein aus Ganglienzellen zusammengesetzter Kern (Centralorgan) des Sehens in der grauen Rinde des Hinterhauptlappens vom Grosshirn.[2])

Von diesem Kern gehen Leitungsfasern zu dem optischen Vorbau (Endorgan, Auge) und zwar bis in die Netzhaut. Aber jeder der beiden Kerne sendet Nervenfasern zur Netzhaut jedes der beiden Augen. Nämlich die beiden Sehstränge,[a]) der rechte von dem rechten Kern, der linke von dem linken herkommend, treten, nachdem sie am Boden des Mittelhirns aus der Gehirnmasse freigeworden, in der Kreuzung[b]) aneinander. Jeder Sehstrang sendet von hier ab ein ungekreuztes (äusseres) Bündel[c]) zum Auge derselben Seite und zwar zur Schläfenhälfte der Netzhaut; und ein gekreuztes[d]) (inneres) Bündel zum Auge der entgegengesetzten Seite und zwar zur Nasenhälfte der Netzhaut. Die Fasermasse von der Kreuzung bis zum Augapfel wird Sehnerv[e]) genannt.

a) Tractus optici.

b) Chiasma.

c) Fasciculus lateralis.

d) Fasciculus cruciatus.

e) Nervus opticus.

Mit der rechten Hirnhälfte (bezw. mit dem rechten Centralorgan, welches die rechte Hälfte jeder der beiden Netzhäute versorgt,) sehen wir,[3]) wegen der Umkehrung des Weltbildes im Auge, diejenige Hälfte des Raumes, welche links von der (nach vorn verlängerten) Mittelebene unseres Körpers belegen ist. Mit der linken Hirnhälfte sehen wir diejenige Hälfte des Raumes, welche rechts von unserer Mittelebene belegen ist.

Durchtrennung des rechten Sehstranges hinter der Kreuzung,

1) Diese vorübergehende Erblindung ist wohl zu unterscheiden von der andauernden Sehstörung durch die (immer doppelseitige) Netzhautentzündung bei Nierenleiden. Gelegentlich können an denselben Kranken beide Zustände zur Beobachtung gelangen.

2) Die convexe Fläche des Hinterhauptlappens ist das lichtempfindliche Rindenfeld des Auges.

3) Bei ruhig geradeaus gerichtetem Blick, bei der sogenannten Primärlage der Augen.

oder seiner Fortsetzung durch die rechte Hirnhälfte hindurch, oder Ausschaltung des rechten Sehcentrums an der Oberfläche des Hinter-

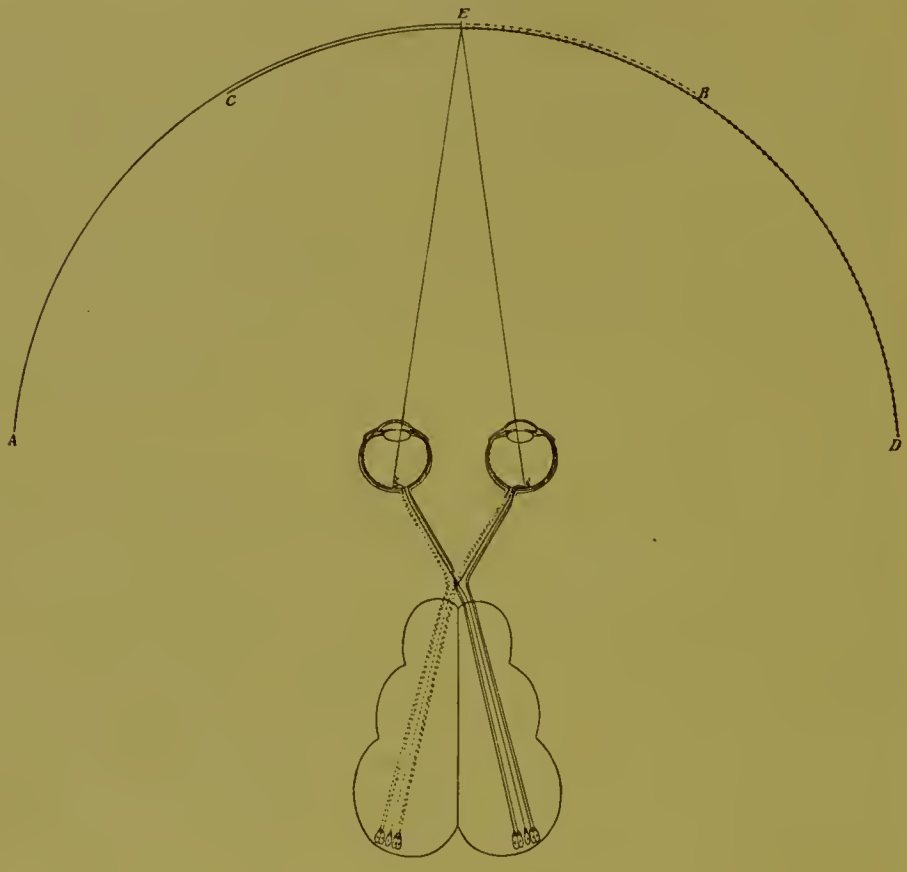

Fig. 21.

Schematische Darstellung des gesammten (zweiäugigen) Gesichtsfeldes. *gr* = Grube des rechten Auges, *gl* = Grube des linken Auges. *E* = Fixirpunkt. *CD* = Gesichtsfeld des rechten Auges, *AB* = Gesichtsfeld des linken Auges. *ED* = rechte Hälfte des Gesichtsfeldes vom rechten Auge, *EB* = rechte Hälfte des Gesichstfeldes vom linken Auge. *ED* und *EB* projiciren sich auf das Centralorgan im linken Hinterhauptlappen. Der Fixirpunkt jedes der beiden Augen wird von beiden Centralorganen versorgt.

hauptlappens bewirkt linksseitige Halbblindheit, bei welcher jedem Auge symmetrisch die linke Hälfte seines Gesichtsfeldes ausfällt.[1])

Durchtrennung des linken Sehstranges, oder seiner Fortsetzung durch das Gehirn, oder Ausschaltung des linken Sehcentrums an der Oberfläche des Hinterhauptlappens bewirkt rechtsseitige Halbblindheit, bei welcher jedem Auge symmetrisch die rechte Hälfte seines Gesichts-

---

1) Hemi-a-blepsia homonyma sinistra. Von *ἥμισυς* halb, *ἀ*-privativum, *βλέπω* ich sehe; *ἀβλεψία* heisst Blindheit. Hemianopsia oder Hemianopia sind gebräuchliche, aber unbrauchbare Bezeichnungen: *ἀνοψία* heisst Mangel an Zukost, *ἀνώπιον* die Gegend über der Thür. — *Ὁμώνυμος* heisst gleichnamig, von *ὁμός* gemeinsam, *ὄνομα* oder *ὄνυμα* Name.

feldes ausfällt. Durchtrennung eines Sehnerven wirkt nur auf dasjenige Auge, zu dem er hinzieht; verursacht Erblindung dieses Auges ohne Betheiligung des andern.

Wenn wir nunmehr als Netzhaut im weiteren Sinne den ganzen lichtempfindlichen Nervenapparat (die eigentliche Netzhaut, den Sehnerven, die bezüglichen Nervenfasern und Ganglienzellen im Gehirn) bezeichnen; so können wir die drei letzten Arten der Sehstörung (II, III, IV) als nervöse der ersten, der dioptrischen, gegenüberstellen. Diese Eintheilung ist von grosser Bedeutung. Denn das ist bei jeder, das Sehen betreffenden Klage eines Kranken die erste und wichtigste Frage, sowohl in Rücksicht auf die Erkenntniss der Krankheit, als auch auf die Heilung[a] derselben: Finden die Lichtstrahlen auf dem Wege zur Netzhaut ein mechanisches Hinderniss, das ja oft genug durch mechanische Kunsthilfe, sei es durch passende Brillen, sei es durch Operation, beseitigt werden kann? Oder ist der nervöse Theil des Sehorgans leidend, dem wir ja nach der Natur der Sache nicht so leicht beikommen können? Denn die Hoffnung, dass z. B. ein entweder dem Magen einverleibtes oder unter die Haut gespritztes Heilmittel gerade auf die Ganglienzellen der rechten Hinterhauptsrinde die gewünschte Wirkung entfalte, ist eben nur in einzelnen Fällen aussichtsvoll.

a) auf Diagnose und Therapie

Diese erste und wichtigste Frage über den Sitz des Leidens ist fast immer rasch und sicher zu entscheiden, mit Hilfe des Augenspiegels; während auf verwandten Gebieten, z. B. in der Ohrenheilkunde, die entsprechende Frage noch heute ernsteren Schwierigkeiten begegnet.

Früher allgemein, und von vielen Aerzten noch bis vor kurzer Zeit, sind dioptrische Störungen mit nervösen verwechselt worden. Nicht allzuselten hat der Mensch ein gutes und ein mittelmässiges Auge. Früher pflegte man dem letzteren immer, was doch nur in einzelnen Fällen zutrifft, eine angeborene Nervenschwäche[b] anzudichten; wer aber mit dem Augenspiegel umzugehen weiss, findet recht häufig einen Fehler der Lichtbrechung[c] und vermag ihn — zu beseitigen!

b) Amblyopia congenita.

c) Astigmatismus.

Was in der Geschichte der fortschreitenden Wissenschaft sich abgespielt, das kehrt auch in der des einzelnen Arztes wieder: je länger er beobachtet, um so häufiger hat er Gelegenheit, scheinbare Sehschwäche in dioptrische Fehler aufzulösen.

Zusatz.

In der Sprache der Aerzte wird die Sehstörung als Amblyopie, die Erblindung als Amaurose bezeichnet. Diese Ausdrücke kommen schon bei den altgriechi-

schen Aerzten vor. *Ἀμβλύς* heisst stumpf, *ὤψ* das Gesicht, also *ἀμβλυωπία* stumpfes Gesicht; *ἀμαυρός* heisst dunkel, also *ἀμαύρωσις* die Verdunkelung.

In den hippocratischen Schriften (von 430 bis 200 v. Chr.) kommen beide Worte vor, jedoch (wie gewöhnlich in diesen Werken) ohne eingehende Erklärung.[1])

Immerhin findet sich in der (unechten) Schrift über das Sehen die spätere Begriffserklärung der Amaurose klar angedeutet.[2])

In den galenischen Schriften (aus und nach dem zweiten Jahrh. n. Chr.) und bei den späteren Griechen ist bereits diejenige Definition ausgeführt, welche sich durch die vielen Jahrhunderte hindurch bis auf unsere Tage erhalten hat: Amaurose ist Blindheit ohne sichtbaren Fehler des Auges.[3])

Ja, wir finden bereits den klaren Hinweis darauf, dass Amaurose ein Leiden der nervösen Theile des Sehorgans[4]) darstelle, — 1000 und selbst 1500 Jahre vor Boerhave[5]) und Beer, denen diese Entdeckung nachgerühmt wird.

Den Neueren blieb nicht viel mehr übrig als — die Entdeckung des Augenspiegels[6]) und der damit sichtbaren Veränderungen.

In dem Latein der mittelalterlichen Aerzte findet sich für Amaurose der Ausdruck gutta serena, wörtlich der heitere Tropfen: gutta (für suffusio, cataracta) bedeutet Star, Sehstörung; serena aber die klarbleibende Pupille. Das Volk nennt es ängstlich den schwarzen Star, die Gelehrten sind mit suffusio nigra vorauf-gegangen.

Es fragt sich nun, ob wir heutzutage, ausgerüstet mit dem Augenspiegel und mit den dadurch gewonnenen Kenntnissen, überhaupt noch den Begriff der Amblyopie und Amaurose festhalten sollen; ob wir nicht besser thun, in jedem einzelnen Falle die mit dem Augenspiegel sichtbaren Veränderungen als Eintheilungsgrund zu be-

---

1) In den Aphorismen wird unter den Krankheiten des Greisenalters auch die Amblyopie aufgeführt. Ausg. v. Kühn, III, 726: *τοῖσι δὲ πρεσβύτῃσι . . . . . ἀμβλυωπίαι, γλαυκώσεες, βαρηκοΐαι.* — Praenot. I. 268. *Ὀμμάτων ἀμαύρωσις.* Es verdient bemerkt zu werden, dass hier Verdunklung der Augen gesagt wird. (Papyr. Ebers: tehn m mrt).

2) Ausg. v. Kühn, III, 46: Wenn die Augen bei ganz gesunder Beschaffenheit die Sehkraft einbüssen, so muss man den Schädel trepaniren und das Hirnwasser herauslassen: so wird der Blinde wieder sehend. *ἤν τινι οἱ ὀφθαλμοὶ ὑγιέες ὄντες διαφθείροιεν τὴν ὄψιν, τουτέῳ χρὴ ταμόντα κατὰ τὸ βρέγμα, ἐπαναδείραντα, ἐκπρίσαντα τὸ ὀστέον, ἀφελόντα τὸν ὕδρωπα, ἰῆσθαι, καὶ οὕτως ὑγιέες γίγνονται.*

3) Pseudogalen. Med., XIV, 776. Galen in Hipp. Praed. Comm., XVI, 611. Aët. p. 133, Paull. Aeg. p. 77., Theoph. Nonn. c. 21. Besonders aber Joann. Act. II, 448: *ἡ ἀμαύρωσις παντελής ἐστι τοῦ ὁρᾶν ἐμποδισμὸς, χωρίς τινος πάθους φανεροῦ περὶ τὸν ὀφθαλμόν.*

4) Galen, VIII, 218. Aët. p. 133, Joann. Act. II. 448.

5) Er fand allerdings „bei einseitiger Amaurose des leidenden Auges Stern ohne Bewegung auf Lichteinfall.“ (Augenkr., Nürnberg 1751). Aber Galen hatte das auch schon gewusst. (V, 614.)

6) Hierdurch wurde der alte Satz ganz hinfällig, „Amaurose sei der Zustand, wo der Kranke nichts sieht und der Arzt auch nichts.“ Man schreibt ihn gewöhnlich dem geistreichen Ph. von Walther zu; aber mit Unrecht. Derselbe hat ihn bekämpft durch die Erklärung, dass „bei der Amaurose weder subjective noch objective Zeichen fehlen.“ (Die Lehre vom schwarzen Star, Berlin, 1841. S. 5.)

nutzen. In der That fällt es heute Niemandem ein, z. B. einem Fall von Netzhautentzündung unter die Amblyopien zu rechnen, da der erst genannte Name ja viel bezeichnender ist. Aber andererseits kann man doch nicht leugnen, dass trotz der vollkommenen Umwälzung, welche das Gebiet der früher sogenannten Amblyopien auf Grund der Augenspiegel-Forschungen erlitten hat, doch noch Vieles zu thun übrig bleibt, und dass noch nicht alle weitgehenden Hoffnungen sich erfüllt haben. Es giebt noch heute, in der Zeit des Augenspiegels, Sehstörungen ohne erkennbare Veränderungen, sei es der äusseren, sei es der inneren Theile des Auges, es giebt noch heute Amblyopien ohne Spiegelbefund. Wir können den geschichtlich entwickelten Begriff beibehalten; müssen aber versuchen, ihn schärfer zu fassen.

Amblyopie ist Sehstörung, welche von einem Leiden der nervösen Theile des Sehorgans, der Netzhaut im oben erwähnten weiteren Sinne, abhängt. Folgerichtig ist Amblyopie, mit ihrem Endausgang, der Amaurose, ein Symptom aller Leiden der Netzhaut im engeren Sinne, ferner des Sehnerven, der Kreuzung, sowie der lichtleitenden und empfindenden Hirntheile selber. Da wir aber heutzutage gewöhnt sind, jeden Krankheitsfall, wo es angeht, nach dem örtlichen Sitz des Leidens zu benennen; so müssen wir, falls der Augenspiegel Entzündung der Netzhaut, Verstopfung der Netzhautschlagadern, Anschwellung des Sehnervenkopfes u. s. w. uns klar legt, hiernach die Benennung wählen. Als reine Amblyopien blieben nur diejenige Fälle übrig, in denen ein solcher anatomischer Sitz des Leidens entweder gar nicht oder nicht mit Sicherheit, oder doch nicht im Beginn deutlicher Sehstörung angegeben werden könnte. Der Ausdruck Amblyopie wäre in gewissem Sinne analog dem einer sogenannten functionellen Lähmung irgend eines anderen Nerven; das heisst, er wäre ein Eingeständniss unserer diagnostischen Unfertigkeit. Genau genommen würde dann aber doch nicht jeder Spiegelbefund vermisst werden in den Fällen der so umgrenzten Amblyopien; man würde schon Verfärbungen des Sehnerven in den späteren Stadien meist wahrnehmen, nur nicht solche, welche ganz eigenartig[a] sind oder gar die bestimmte Krankheit genau kennzeichneten.[b]

a) charakteristisch.
b) pathognomonisch.

Genau genommen würde dann die Atrophie des Sehnerven nicht in dieses Capitel hinein gehören, und doch hat man sich gewöhnt, gerade diese als „progressive Amblyopie“ oder Amaurose im eigentlichen Sinne zu betrachten, einmal, weil es vor Helmholtz's unsterblicher Entdeckung fast unmöglich schien, frühzeitig eine sichere Diagnose zu stellen; sodann weil auch heute noch, wenigstens in einzelnen Fällen, im Beginne des Leidens der Spiegelbefund wenig charakteristisch ist: endlich weil die schliesslich eintretende Veränderung (die mehr oder minder helle Verfärbung des Sehnervenkopfes) den Endausgang recht verschiedener Vorgänge darstellen kann.

Der naturgemässe Weg der Erörterung leitet uns zunächst zu den optischen Fehlern des Auges und zu den Mitteln, sie zu erkennen und unschädlich zu machen.

Vierter Abschnitt.

Refraction.

1. Dioptrik der gewöhnlichen Brillengläser.

Wer das Gebiet der optischen Fehler des Auges mit Verständniss durchwandern will, hat eine gewisse Kenntniss der mathematisch-physikalischen Dioptrik mitzubringen. Ich weiss sehr wohl, dass die praktischen Aerzte auch heute noch solchen Erörterungen abhold sind, ebenso wie vor 1700 Jahren, zu den Zeiten des braven Galenus,[1]) welcher schon über diese, wie es scheint, berechtigte Eigenthümlichkeit des ärztlichen Standes bitter sich beklagte. Nichtsdestoweniger muss ich mir die Erlaubniss nehmen, das Unentbehrliche, trotzdem es ja langweilig scheinen mag, in kurzer und einfacher Form vorzutragen, da sonst für alles Weitere eine Verständigung nicht möglich ist. Das Auge ist ein optisches Werkzeug. Wer die Krankheiten des Auges verstehen will, muss sich mit Optik beschäftigen.

Der Brillenkasten, welcher eine passende Sammlung von Brillengläsern nebst Gestellen enthält, ist heutzutage ein unentbehrliches Hilfsmittel der ärztlichen Diagnose. Nicht mehr ist es möglich, wie zur Zeit unserer wissenschaftlichen Grossväter, die Hilfesuchenden „zu einem Brillenhändler zu senden, der gute Brillen führt, damit sie selber die richtige und passende sich aussuchen."

Lediglich durch die Brillenwahl gelingt es uns in verschiedenen Fällen, einer so wichtigen Krankheit, wie der Zuckerharnruhr, auf die Spur zu kommen. Es gelingt uns, durch passende Brillengläser heftige und andauernde Kopfschmerzen und die verschiedensten nervösen Beschwerden, die dem Kranken das Leben verbittern, leicht

1) Vom Nutzen der Theile, 10. Buch, 12. Hauptstück. Ausg. v. Kühn, Band III, S. 812. (*δυσχεραίνουσι*).

und vollständig zu beseitigen und die Arbeitsfähigkeit, die er vergeblich ersehnte, ihm zu verschaffen und zu erhalten.

In unseren gewöhnlichen Brillenkästen finden wir zwei Arten von Brillengläsern, die beide auf Kugelflächen geschliffen sind:

1. Doppelt erhabene, biconvexe oder Sammellinsen. Sie haben wirklich, woher der Name genommen, die Gestalt einer Linsenfrucht,

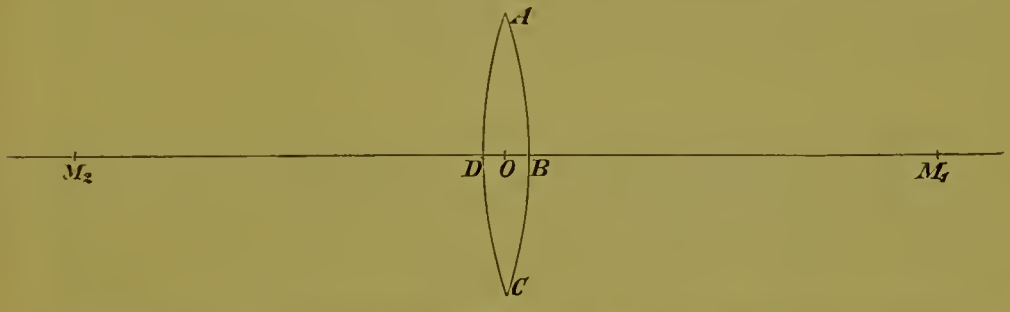

Fig. 22.

Die krumme Linie $ADCB$ stellt den Dickendurchschnitt einer ebenmässigen, doppelt-erhabenen Linse dar. Der Punkt O in der Mitte der Linse heisst der optische Mittelpunkt. Die gerade Linie $M_1 M_2$ ist die Hauptachse. Auf dieser Graden liegt einerseits der Punkt M_2, der Krümmungsmittelpunkt derjenigen Kugelfläche, von welcher ABC, die hintere Fläche der Sammellinse, ein Stück darstellt; und andererseits M_1, der Krümmungsmittelpunkt von ADC.

den auf Fig. 22 dargestellten Durchschnitt, und werden vom Rande nach der Mitte zu dicker.

2. Doppelt ausgehöhlte, biconcave oder Zerstreuungslinsen. Sie geben auf dem Durchschnitt die Fig. 23 und werden also vom Rande nach der Mitte zu dünner.

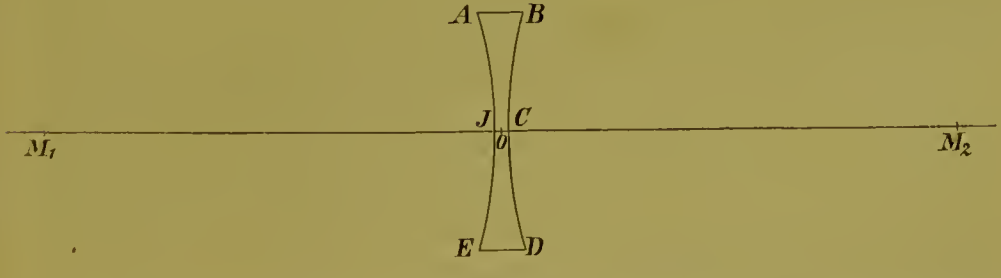

Fig. 23.

$ABCDEJ$ = Durchschnitt der biconcaven Linse, $M_1 O M_2$ = Hauptachse, O = optischer Mittelpunkt; M_1 = Krümmungsmittelpunkt derjenigen Kugelfläche, von welcher AJE, die Vorderfläche der biconcaven Linse, ein Stück darstellt; M_2 = Krümmungsmittelpunkt von BCD.

Durch den unmittelbaren Versuch kann man sehr leicht erkennen, dass eine Sammellinse von einen fernen Gegenstand (wenn derselbe von O aus betrachtet, nur einen kleinen Winkel umspannt), ein umgekehrtes Bild entwirft, welches im Gange der Lichtstrahlen hinter der Linse gelegen, reell, d. h. auf einem Schirm aufzufangen, sowie dem Gegenstand form- und farbenmässig ähnlich ist. Dies

bedeutet, dass alle von einem Punkte des Gegenstandes ausfahrenden und auf die Linse fallenden Lichtstrahlen wieder in einen Punkt des Bildes gesammelt werden.

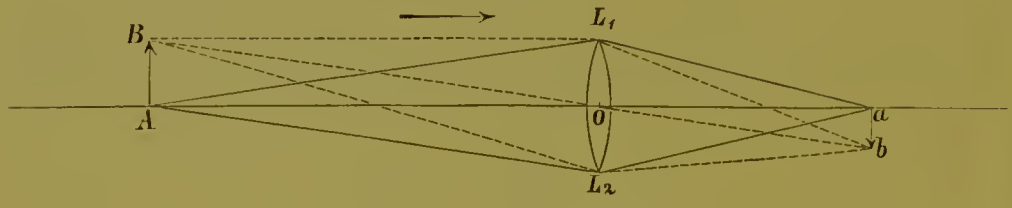

Fig. 24.

Liegt der Gegenstandspunkt in der Hauptachse der Sammellinse, so liegt auch der Bildpunkt in derselben Achse. Ist der Gegenstand senkrecht zur Hauptachse gerichtet, so ist auch das Bild senkrecht zu derselben. Rückt der Gegenstand näher an die Sammellinse heran, so rückt das Bild weiter von der letzteren ab und wird verhältnissmässig grösser.

Richtet man die Sammellinse gegen einen sehr fernen Lichtpunkt, z. B. gegen einen Stern; so entsteht in einem bestimmten Punkt (B_2) hinter der Linse ein punktförmiges Bild des leuchtenden Gegenstandes.

Jener Punkt B_2 heisst Brennpunkt oder zweiter Hauptbrennpunkt der Sammellinse. [1])

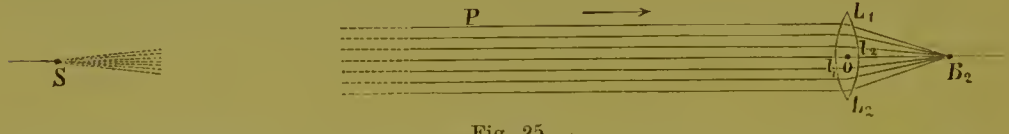

Fig. 25.

S ist der ferne Lichtpunkt. Um anzudeuten, dass *S* im Verhältniss zu den Ausdehnungen der Zeichnung ausserordentlich weit von der Linse $L_1 L_2$ entfernt zu denken sei, ist der Anfang des von *S* ausfahrenden Strahlenbündels punktirt. Der Pfeil giebt die Richtung der Strahlen.

Das von einem leuchtenden Punkt (*S*) ausfahrende Strahlenbündel ist zunächst divergent, da bekanntermassen das Licht gleichförmig nach allen Richtungen des Raumes sich ausbreitet. Ist aber die Entfernung des lichtaussendenden Punktes von der lichtauffangenden Fläche ausserordentlich gross, unmessbar gross oder, wie man sagt, unendlich gross gegen den Durchmesser der lichtauffangenden Fläche: ist also in unserem Beispiele Sl_1 unendlich gross gegen $L_1 L_2$, die Breite der Linse, oder $\frac{Sl_1}{L_1 L} = \infty$: so kann man das von *S* aus-

1) Richtet man nämlich die Sammel-Linse gegen die Sonne, und hält in B_2 einen leicht brennbaren Gegenstand; so wird der letztere durch die Sammlung der Lichtstrahlen in einen engen Raum und die davon abhängige Erhitzung dieses Raumes entzündet.

gehende und auf die Linse fallende Bündel der Lichtstrahlen als ein unter sich und mit der Achse Sl_1 paralleles ansehen. Denn man definirt seit Euklid zwei parallele Linien in einer Ebene als solche, die in einem unendlich fernen Punkte der letzteren sich schneiden. Visirt man von L_1 und von L_2 nach S hin, so könnte man die Grösse des Winkels $L_1 S L_2$ nicht angeben, da derselbe nicht von Null verschieden gefunden wird.[1])

Das parallel der Hauptsache Sl_1 auf die Linse $L_2 L_2$ fallende Strahlenbündel wird in dem zweiten Hauptbrennpunkt derselben, nämlich in

---

1) Der mathematische Begriff des Unendlichen erheischt hier eine kurze Erläuterung. Die Lehrbücher der Augenheilkunde springen oft sonderbar mit der Unendlichkeit um und lassen sie ziemlich allgemein bereits in zwanzig Fuss Entfernung von dem betrachteten Auge beginnen. Dies ist ungereimt. Unendliches können wir weder schauen noch vorstellen. Folglich kann auch in der Geometrie oder Algebra kein Ding, keine Grösse an sich unendlich gross sein. Es kann aber leicht eine Grösse A vorgestellt werden, welche so gross ist, im Verhältniss zu einer anderen Grösse a, dass bei der praktischen Ausmessung der Grösse A die Hinzufügung oder die Fortnahme der Grösse a schlechterdings nicht in Betracht kommt. Ist für alle Messungen, die wir ausführen können, $(A + a)$ und $(A - a)$ für uns nicht merkbar verschieden von A; so können wir sagen, dass A unendlich gross gegen a oder $\frac{A}{a} = \infty$ oder $\frac{a}{A} =$ null.

Der Begriff der Unendlichkeit ist nicht eine Eigenschaft, die einem Ding anhaftet; sondern erwächst immer erst aus einer Beziehung zwischen zwei Grössen. Wenn ein Feldmesser ein Feld nach Hektaren und Aren mit der Messkette genau ausgemessen hat, so würde er sehr thöricht handeln, wenn er das Maass bis auf einen Quadratmillimeter genau angeben wollte. Und ebenso thöricht würde der Besitzer handeln, welcher einen Streifen Landes von der Breite eines Millimeters etwa von seinem Nachbar einklagen wollte. Gegen diesen Streifen wäre der Flächeninhalt des Grundstückes unendlich gross.

Vollends ist die Siriusferne unendlich gross gegen die Breite einer unserer Glaslinsen, da kein Mensch einen Unterschied in der Länge der Strahlen Sl_1 und SL_1 oder SL_2 anzugeben vermöchte.

Fünfzehn oder zwanzig Fuss (5 oder 7 Meter) geben allerdings eine sehr gut anschauliche Grösse und haben an sich mit dem Begriff der Unendlichkeit nichts zu schaffen. Befindet sich aber ein Lichtpunkt, d. h. eine sehr kleine lichtaussendende Fläche, zwanzig Fuss von der Pupille eines Auges, die doch im Allgemeinen nur eine Linie oder kaum $\frac{1}{3000}$ von 20 Fuss erreicht; so kann man die Gegenstandsferne als unmessbar gross gegen die Breite der lichtauffangenden Fläche ansehen, da in der That der Divergenzwinkel des Strahlenbündels nur durch $\frac{1}{3000} = 0{,}0003$ (d. h. arc. tang. 1.5 Bogenminuten), also durch einen fast unmessbar kleinen Winkel dargestellt wird.

Dies ist der wahre oder mathematische Sinn der sogenannten opthalmologischen Unendlichkeit.

B_2, vereinigt. Folglich wird ein jeder Strahl, welcher vor dem Eintritt in die Linse ihrer Hauptachse parallel zieht (z. B. PL_1), nach der Brechung durch den zweiten Hauptbrennpunkt B_2 hindurchgehen. Der einfallende und der gebrochene Strahl können aber in jedem Falle ihre Rolle austauschen; dies ist das sogenannte Reciprocitätsgesetz, welches unmittelbar aus dem physikalischen Brechungsgesetz folgt.[1])

Somit wird jeder Strahl, der hinter der Linse durch den zweiten Hauptbrennpunkt hindurchgeht, vor der Linse der Hauptachse parallel ziehen.

Richten wir die andere Seite derselben Sammellinse gegen einen sehr fernen Lichtpunkt S_1, so wird ein punktförmiges Bild des letzteren in dem vorderen Brennpunkte B_1 der Linse entworfen.

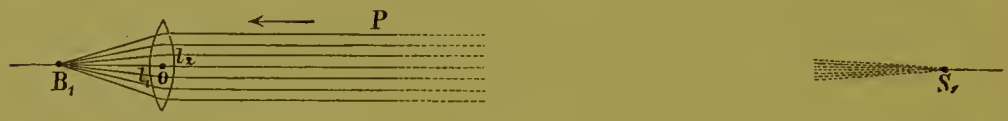

Fig. 26.

B_1 liegt um dieselbe Strecke vor dem optischen Mittelpunkt O der Linse, wie B_2 hinter O; $B_2 O = OB_1$ wird die Hauptbrennweite der Linse genannt und mit dem Buchstaben F bezeichnet.

Jetzt haben wir alle Thatsachen gesammelt, um auf ganz einfache Weise das mathematische Gesetz der zusammengehörigen Bildgrössen und Bildfernen für gewöhnliche Sammellinsen zu entwickeln.

Wir sehen beim ersten Blick auf Fig. 28, dass $\frac{\beta_1}{-\beta_2} = \frac{\varphi_1}{F_1} = \frac{F_2}{\varphi_2}$, also $\varphi_1 \varphi_2 = F_1 F_2$. (Für Linsen ist $F_1 = F_2$.)

Es sei AC ein beliebiger, lichtaussendender Gegenstand, senkrecht zu PQ, der Hauptachse der Linse. Der von C der Hauptachse parallel ausfahrende Strahl CH muss, nach der Brechung, durch den Punkt B_2 gehen, in der Richtung $B_2 D$. Der von C ausfahrende und durch den Punkt B_1 gehende Strahl CJ_1 ist nach der Brechung parallel mit der Hauptachse und zieht weiter in der Richtung IK. In

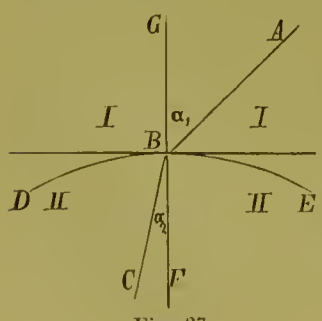

Fig. 27.

1) Das Brechungsgesetz lautet $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$. Folglich gilt auch die Gleichung $n_2 \sin \alpha_2 = n_1 \sin \alpha_1$.

Ist in der Ebene der Zeichnung AB der einfallende Strahl und BC der gebrochene, DBE der Durchschnitt der beliebig gekrümmten Trennungsfläche zwischen den beiden optisch verschiedenen, einfach brechenden Mitteln I und II, GF das Einfallsloth im Punkte B; so muss, wenn CB den einfallenden Strahl darstellt, BA der gebrochene sein.

C_1 schneiden sich die beiden gebrochenen Strahlen $H\,D$ und $I\,K$. C_1 ist also der Vereinigungspunkt aller von C ausfahrenden und die Linse treffenden Strahlen, da diese sich nach der Brechung in einem Punkte schneiden. C_1 ist der Vereinigungspunkt des von C aus auf die Linse fallenden homoecentrischen[1]) Strahlenbündels und wird der Bildpunkt von C genannt. Da AC senkrecht zur Hauptachse, so muss auch das Bild $A_1\,C_1$ senkrecht zur Hauptachse sein. Wir erhalten A_1, den Bildpunkt von A, indem wir von C_1 ein Loth bis zur Hauptachse fällen.

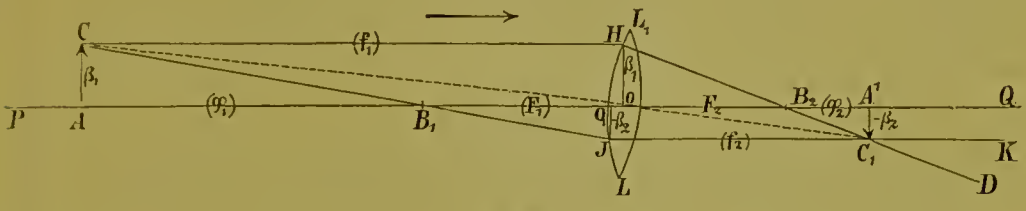

Fig. 28.

Wir bezeichnen CA mit β_1, $C_1\,A_1$ mit $-\beta_2$. (Das Minuszeichen bedeutet die, im Vergleich mit dem Gegenstand, entgegengesetzte Lage des Bildes zur Hauptachse.)

Wir bezeichnen ferner $A\,B_1$ mit φ_1, $B_2\,A_1$ mit φ_2, $B_1\,O$ mit F_1, OB_2 mit F_2; fällen von H auf die Hauptaehse ein Loth, welches wegen der Dünne der Linse von HO nicht wesentlich abweicht und jedenfalls gleich β_1 sein muss. Wir fällen von I ein Loth IO_1 auf die Hauptachse; (Punkt O_1 muss wegen der Dünne der Linse ganz nahe bei O liegen); IO_1 ist jedenfalls gleich $-\beta_2$. Nunmehr ist $\triangle\ ACB_1 \sim \triangle\ B_1\,IO_1$: da $\angle\ CB_1\,A = \angle\ IB_1\,O_1$ als Scheitelwinkel, $\angle\ CAB_1 = \angle\ B_1\,O_1\,I$ als Rechte.

Folglich 1. $\dfrac{CA}{IO_1} = \dfrac{AB_1}{B_1\,O_1}$.

Ebenso ist $\triangle\ HOB_2 \sim \triangle\ B_2\,C_1\,A_1$; da $\angle\ HB_2\,O = \angle\ A_1\,B_2\,C_1$ als Scheitelwinkel, $\angle\ HOB_2 = \angle\ B_2\,A_1\,C_1$ als Rechte.

Folglich 2. $\dfrac{HO}{A_1\,C_1} = \dfrac{OB_2}{B_2\,A_1}$.

Aus Gleichung 1 und 2 folgt sofort:

3. $\dfrac{\beta_1}{-\beta_2} = \dfrac{\varphi_1}{F_1}$; 4. $\dfrac{\beta_1}{-\beta_2} = \dfrac{F_2}{\varphi_2}$;

oder die Doppelgleichung I. $\dfrac{\beta_1}{-\beta_2} = \dfrac{\varphi_1}{F_1} = \dfrac{F_2}{\varphi_2}$.

Aus dem zweiten Theile der Doppelgleichung, nämlich $\dfrac{\varphi_1}{F_1} = \dfrac{F_2}{\varphi_2}$, folgt unmittelbar II. $\varphi_1\,\varphi_2 = F_1\,F_2$.

In den Schulbüchern der Physik und der Augenheilkunde findet man häufig eine andere Form der Gleichung von den zugeordneten Bildweiten. Dieselben sind nicht, wie eben entwickelt, von den Hauptbrennpunkten ab, sondern von dem optischen Mittelpunkt ab gerechnet.

Es sei $f_1 = AO$, $f_2 = OA_1$. Dann ist selbstverständlich $f_1 = \varphi_1 + F_1$, oder $\varphi_1 = f_1 - F_1$; $f_2 = \varphi_2 + F_2$, oder $\varphi_2 = f_2 - F_2$.

---

1) Von einem Punkt ausgehenden, (ὁμόκεντρος, von ὁμός gemeinsam und κέντρον Mittelpunkt.)

Folglich wird aus Gleichung II

$$(f_1 - F_1)(f_2 - F_2) = F_1 F_2, \text{ oder (da hier } F_1 = F_2)$$
$$f_1 f_2 - f_2 F - f_1 F + FF = FF.$$
$$f_1 f_2 = f_2 F + f_1 F.$$
$$\frac{f_1 f_2}{f_1 f_2 F} = \frac{f_2 F}{f_1 f_2 F} + \frac{f_1 F}{f_1 f_2 F}.$$

III. $$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}.$$

IIIa) $$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{F} - \frac{1}{f_1}.$$

Concave oder Zerstreuunglinsen entwerfen von einem fernen Gegenstand, (der, vom optischen Mittelpunkt der Linse aus betrachtet, nur einen kleinen Winkel umspannt,) ein aufrechtes, virtuelles, d. h. nicht auffangbares, scheinbar vor der Linse belegenes Bild, welches dem Gegenstand form- und farbenmässig ähnlich ist. (Fig. 29.)

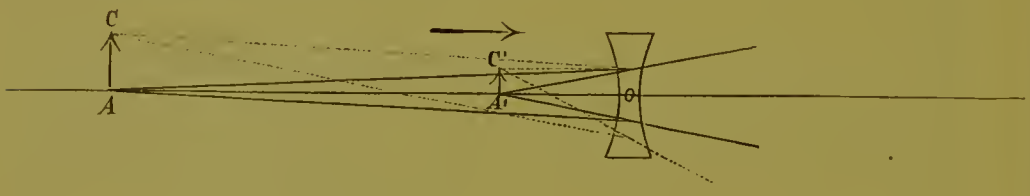

Fig 29.

Richtet man die Zerstreuungslinse gegen einen sehr fernen Lichtpunkt S, so entsteht ein punktförmiges Bild des letzteren in einem Punkt B_2, der im Gange der Lichtstrahlen, wie er in Fig. 30 durch den oberen Pfeil dargestellt wird, vor der Linse gelegen ist, und der zweite negative Hauptbrennpunkt, oder der zweite Hauptzerstreuungspunkt der Concavlinse genannt wird. Das von dem sehr fernen Punkt S ausgehende, parallel auf die Zerstreuungslinse fallende Strahlenbündel HPH_1P_1 wird zerstreut zu dem divergenten Bündel PQP_1Q_1, dessen scheinbarer Ausgangspunkt B_2 ist. — Ein nach B_2 convergent auf die Concavlinse fallendes (z. B. durch eine Convexlinse convergent ge-

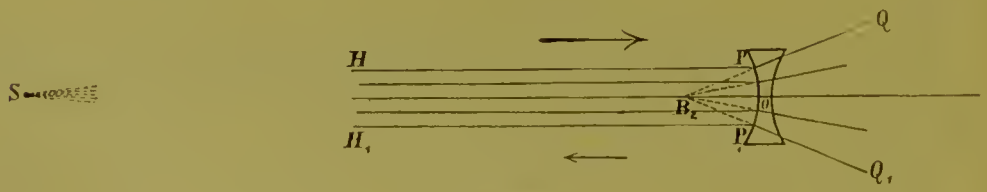

Fig. 30.

machtes) Strahlenbündel (QPQ_1P_1) ist nach der Brechung der Hauptachse parallel (PHH_1P_1). Der untere Pfeil zeigt diesen Strahlengang.

Richten wir die andere Seite der Concavlinse gegen einen sehr fernen Lichtpunkt S_1 (Fig. 31), so wird das parallel einfallende Strahlenbündel (hh_1p_1p) derartig zerstreut zu dem divergenten (pqp_1q_1) als käme es her von B_1, dem ersten Hauptzerstreuungspunkt der Concavlinse.

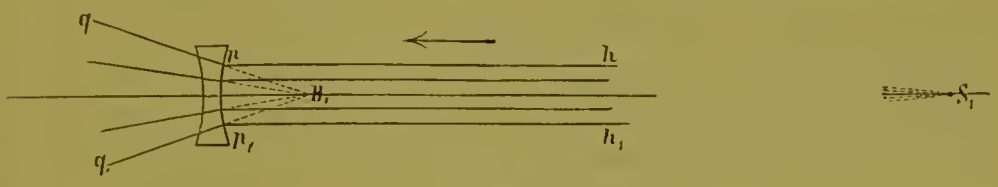

Fig. 31.

Für Zerstreuungslinsen gelten dieselben Hauptformeln, wie für Sammellinsen; nur ist F negativ, da B_2 vor der Linse liegt.

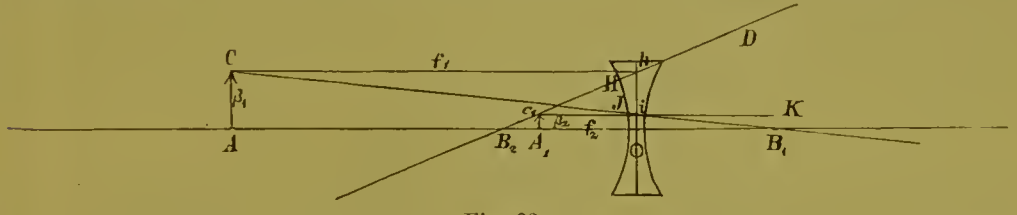

Fig. 32.

Es sei $CA = \beta_1$ der Gegenstand. Der von C aus, der Hauptachse parallel, einfallende Strahl CH geht nach der Brechung weiter, als käme er von B_2, in Richtung hD. Der von C nach B_1 zielende Strahl CB_1 wird nach der Brechung der Hauptachse parallel und zieht weiter in Richtung iK. Die beiden von C ausgehenden und gebrochenen Strahlen hD und iK, gehörig nach rückwärts verlängert, schneiden sich im Punkte C_1: in diesem Punkte müssen daher alle von C ausfahrenden Strahlen nach der Brechung sich treffen: C_1 ist der virtuelle Bildpunkt von C. Fällen wir von C_1 ein Loth auf die Hauptachse, so gewinnen wir im Punkt A_1 den Bildpunkt von A; C_1A_1 ist das virtuelle Bild von CA.

$$\triangle\ CAB_1 \sim \triangle\ iOB_1.$$

$$\frac{CA}{iO} = \frac{AB_1}{OB_1} \text{ oder } 1.\ \frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{\varphi_1}{F_1}\ ^1).$$

$$\triangle\ hO\,B_2 \sim \triangle\ C_1\,A_1\,B_2.$$

$$\frac{hO}{C_1A_1} = \frac{B_2\,O}{B_2\,A_1} \text{ oder } 2.\ \frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{F_2}{\varphi_2}$$

$$\text{I.}\ \frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{\varphi_1}{F_1} = \frac{F_2}{\varphi_2}$$

$$\text{II.}\ \varphi_1\,\varphi_2 = F_1\,F_2.$$

Die Formeln I und II sind identisch mit den für Convexlinsen gewonnenen, wenn man für Concavlinsen F_1 und F_2 negativ setzt, was ja auch selbstverständlich

1) Man hat $iO = +\beta_2$ zu setzen, da nach Construction C_1A_1 gleich gerichtet mit CA.

ist, da im Falle der Convexlinsen die Streeke $B_1\ O$ vor O, hingegen $O\ B_2$ hinter O; im Falle der Concavlinse $O\ B_1$ hinter O, aber $B_2\ O$ vor O belegen ist.

Aus $\varphi_1\ \varphi_2 = F\ F$ muss aueh für Concavlinsen die daraus abgeleitete Formel $\left(\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}\right)$ folgen, in weleher natürlieh F das Minuszeiehen erhält.

Die Construetion, deren wir uns bei Fig. 28 und Fig. 32 bedient, ist für alle Fälle anwendbar.

Denken wir in Fig. 28 den Abstand $A\ B_1$ sehr gross, so wird $B_2\ A_1$ sehr klein; d. h. das umgekehrte, reelle, verkleinerte Bild wird in unmittelbarer Nähe des hinteren Hauptbrennpunktes entworfen. Das ist der Fall eines Fernrohrobjectivs. Denken wir aber $A_1\ C_1$ als Gegenstand, so wird $C\ A$ das Bild; und wenn $B_2\ A_1$ sehr klein vorgestellt wird, haben wir den Fall des Mikroskopobjeetivs.

Für die praktische Dioptrik bleibt uns noeh ein dritter Hauptfall zu erledigen, der bei der Lupe, dem Fernrohr- wie Mieroseop-Oeular und bei der Convex-
a) Prespyopen. brille der Alterssiehtigen[a]) Anwendung findet: der Gegenstand $A\ C$ liege vor der Sammellinse, zwischen B_1 und O.

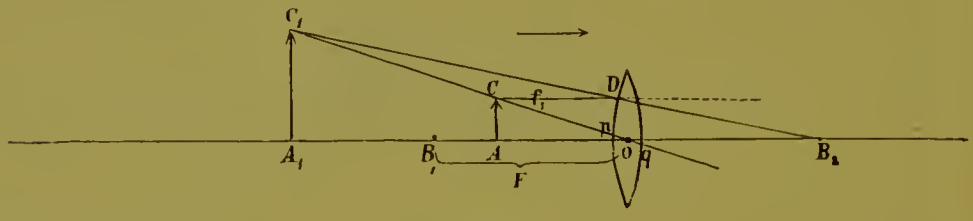

Fig. 33.

Der Strahl $C\ O$ weleher durch den optischen Mittelpunkt[1]) O zielt, bleibt unabgelenkt; der Strahl $C\ D \mp B_1\ B_2$ geht naeh der Brechung durch B_2: die beiden gebroehenen Strahlen $C\ q$ und $D\ B_2$ müssen, rüekwärts verlängert, sich sehneiden. ($C\ D < O\ B_2$, naeh der Voraussetzung.) Der Schnittpunkt C_1 ist der Bildpunkt von C; $C_1\ A_1$ ist das virtuelle Bild von $C\ A$.

Die Vergrösserung der Lupe, $V = \frac{A_1\ C_1}{A\ C}$.

Liegt A sehr nahe an B_1, so wird $A\ O = F$. $A_1\ O$, die deutliehe Sehweite, sei $s = 8'' = 216$ Mm.

$V = \frac{s}{F} = \frac{216}{F}$, wenn F in Mm. Maass gegeben ist.

Hat die Lupe eine Brennweite von $2'' = 54$ Mm., so wird

$$V = \frac{216}{54} = 4.$$

---

1) Der Strahl, der vom Gegenstandspunkt C zum Bildpunkt C_1 durch O zieht (Fig. 28) wird nieht abgelenkt. (Die in p und q an die Linsenflächen gelegten Berührungsebenen sind einander parallel. Fig. 33.)

O ist der Symmetriepunkt für die zusammengehörigen Bildpaare.

Zusatz.

Geschichtliche und andere Bemerkungen über Brillen.

1. Das deutsche Wort Brille stammt aus dem griechischen. *Βήρυλλος* war ein indischer, meergrüner, durchsichtiger Edelstein.[1]) Bei den Römern schrieb man auch berullus; im Mittelalter berillus, auch zur Bezeichnung von Crystall oder Glas.[2])

2. Den alten Griechen und Römern waren die Brillen gänzlich unbekannt. Sie wussten wohl, dass mit Wasser gefüllte Glaskugeln, wenn die Sonnenstrahlen darauf fallen, leicht brennbare Gegenstände entflammen.[3]) Sie lernten auch später, dass diese Kugeln kleine Gegenstände vergrössern. Aber sie schoben diese Wirkung auf das Wasser, nicht auf die kugligen Flächen.[4])

3. Von der vergrössernden Kraft eines gläsernen Kugelsegments spricht bereits der spanische Araber Alhazen im 11. Jahrh. n. Chr.; aber die Convexbrillen sind erst gegen das Jahr 1300 erfunden worden. (Angeblich von dem Florentiner Salvino degli Armati.) Concavbrillen kamen erst um die Mitte des sechzehnten Jahrhunderts allgemein in Gebrauch.

Der erste Arzt, welcher Brillen erwähnt, ist Bernhard Gordon (1305), doch preist er hauptsächlich sein Augenwasser, das die Brillen entbehrlich mache.[5])

---

1) Lucian, V. H., 2, 11. Plin., n. h., XXXVIII, 5. — Der griechisch-lateinische Name stammt, wie bei der Herkunft des Steines selbstverständlich, aus dem altindischen. (Prâkrit: vêluriga; Sanskrit: vaidurya. — Aramaeisch: bellûr; arabisch; billaur.) — Mittelhochdeutsch barille, berille, brille, niederländisch bril.

2) Glossar. med. et inf. latin. (Favre, 1883) I, 639 und VI, 29: Berillus, conspicilium, Gallis besicle (?), Belgis brill . . . . per berillum duplicem legere consueverat — — duos orbes e tenui vitro crystallove aut beryllo, per quos infirmior visus . . . viderit, quos ocularia nominant.

3) Die Brennebene liegt um *r* hinter der hinteren Fläche.

4) a) Aristophan., Wolken, 766 fgd.:

Στρ. Ἤδη παρὰ τοῖσι φαρμακοπώλαις τὴν λίθον ταύτην ἑώρακας, τὴν καλήν, τὴν διαφανῆ, ἀφ' ἧς τὸ πῦρ ἅπτουσι;

Σωκρ. Τὴν ὕαλον λέγεις;

b) Plin., n. h. XXXVII. s. 10. Invenio medicos quae sunt urenda corporum, non aliter utilius id fieri putare, quam crystallina pila adversis posita solis radiis. XXXVI. s. 67. Addita aqua vitreae pilae sole adverso in tantum excandescunt, ut vestes exurant. c) Senec. nat. quaest. I, c. 6. Omnia per aquam videntibus longe esse majora. Literae quamvis minutae et obscurae per vitream pilam aqua plenam majores clarioresque cernuntur. — d) Plin. XXXVII. S. 64 (Zmaragdi) plerunque et concavi, ut visum colligant. . . . Quorum corpus extentum est, eadem quâ specula ratione supini imagines rerum reddunt. Nero princeps gladiatorum pugnas spectabat in zmaragdo. Hier ist nur von Spiegelung die Rede! Dies hat auch schon Lessing bewiesen. (Antiquar. Briefe, 45.)

5) Est tantae virtutis quod decrepitum faceret legere literas minutas sine ocularibus. (Lilium medicinae, Lugduni 1550, p. 278.) — Auch Guy de Chauliac (geb. 1300 n. Chr.) empfiehlt Brillen gegen Augenschwäche. (Chir. magna, Lugduni 1585, p. 315. Et si ista non valent, ad conspicilia vitri, seu becyclos, est recurrendum.)

Die richtige Erklärung von der Wirkung der Brillengläser hat erst Kepler (1604) gegeben.[1])

4. Geschliffen werden die Brillengläser auf metallenen, kugligen Schleifschalen von bekanntem Halbmesser; früher mittelst der Drehbank, heutzutage in der Regel mittelst einer Dampfmaschine.

2. Ueber Bezeichnung und Brechkraft der Brillengläser. Die Glaslinsen des Brillenkastens vergleicht man nach dem Betrag ihrer Hauptbrennweiten. Die letzteren sind Längen oder lineare Strecken. Folglich kommt hierbei die Einheit des Längenmaasses in Betracht.

Gehen wir vom Zollmaass aus, so kann nur diejenige Linse uns den Werth der Einheit liefern, deren Hautbrennweite einen Zoll beträgt.

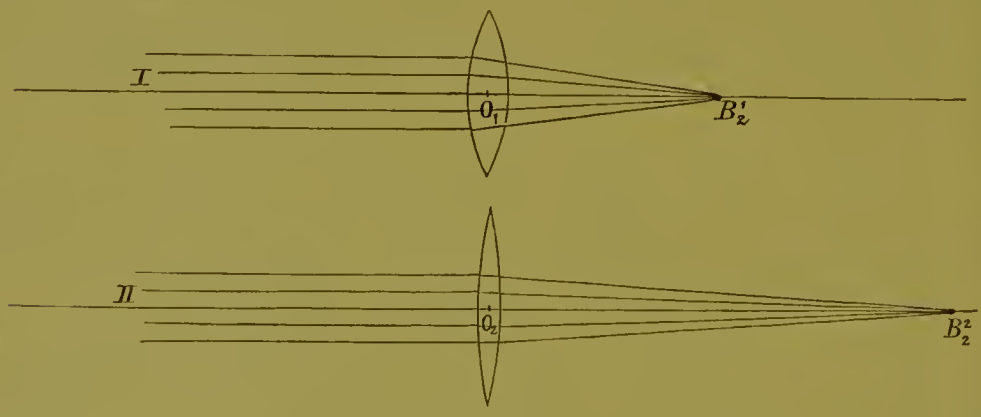

Fig 34.

Lässt man ein paralleles Strahlenbündel, das gewissermassen als Prüfungsmittel benützt wird, auf eine solche Linse fallen (Fig. 34, I), so wird dasselbe einen Zoll hinter der Linse in einen Brennpunkt (B_2^1) vereinigt. Vergleichen wir mit dieser ersten Linse eine zweite von zwei Zoll Brennweite (Fig. 34, II), so wird bei letzterer das parallel der Hauptsache einfallende Strahlenbündel erst zwei Zoll, d. h. $2 \times 1''$, hinter der Linse vereinigt: mit anderen Worten, das parallele Strahlenbündel wird weniger rasch convergent gemacht, weniger rasch abgelenkt oder gebrochen. Man kann somit die Brechkraft[2]) (Refraction, R) einer Linse umgekehrt proportional ihrer Brennweite setzen. $R = \frac{1}{F}$.

---

1) Vgl. Priestley, Gesch. d. Opt., Wilde Gesch. d. Opt., Poggendorff. Gesch. der Physik, Anagnostakis *περὶ τῆς ὀπτικῆς τῶν ἀρχαίων* (Athen 1878), Horner über Brillen (Zürich 1885), Stilling, Entstehung der Kurzsichtigkeit, 1887.

2) Diese Betrachtungsweise rührt von Herschel her. (On ligt 243, a. 1826. Vgl. auch Coddington, Opticks, I. 95.)

Bis vor Kurzem wurden alle Brillengläser nach dem Zollmaass eingetheilt und angeblich nach der Brennweite benannt. Die Linse + 2″, die dickste der Sammlung[1]), sollte diejenige bedeuten, deren Brennweite zwei Zoll beträgt. Die Linse + 80″, die dünnste der Sammlung, sollte diejenige bedeuten, deren Brennweite + 80″ beträgt.

Betrachtet man bei Annahme des Zollmaasses naturgemäss die Linse von 1 Zoll Brennweite als Einheit, d. h. setzt man deren Brechkraft $R_1 = 1$; so ist die Brechkraft einer Linse von 2 Zoll Brennweite $R_2 = \frac{1}{2}$ und die Brechkraft einer Linse von 40 Zoll Brennweite $R_{40} = \frac{1}{40}$ der gewählten Einheit.

Es ist durchaus nöthig, diese richtige Schreibweise immer anzuwenden, da bei der Zusammensetzung von zwei Gläsern, welche wir in der praktischen Dioptrik des Auges so vielfach brauchen, eben die Brechkräfte und nicht die Brennweiten sich addiren.

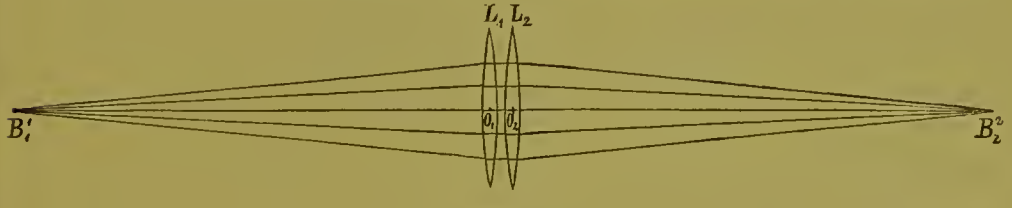

Fig. 35.

Nehmen wir zwei dünne Linsen L_1 und L_2, (L_1 von der Brennweite F_1 und L_2 von der Brennweite F_2) und bringen sie sehr nahe aneinander auf der nämlichen Hauptachse an: so wird dadurch ein zusammengesetztes System erzeugt, dessen Hauptbrennweite Φ zu bestimmen ist.[2])

Soll für das zusammengesetzte System $(L_1\ L_2)$ diejenige Grösse Φ gefunden werden, welche analog ist der Hauptbrennweite F einer gewöhnlichen Sammellinse: so hat man, mit Rücksicht auf die für die einfache Sammellinse geltende Gleichung $\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$, jetzt

---

1) Die vollständigen Brillenkasten pflegen die folgenden Nummern, von jeder ein Paar convexe und ein Paar concave, zu enthalten: 80, 50, 40, 36, 30, 24, 22, 20, 18, 16, 14, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, $4^1/_2$, 4, $3^1/_2$, 3, $2^1/_2$, 2. (Die Linse 1, die nicht gebraucht wird, ist nicht vorhanden.)

Hiervon sind allenfalls 80, 36, 22, 18 entbehrlich; dagegen für die Prüfung von Star-Operirten noch + $3^3/_4$, $3^1/_4$, $2^3/_4$, $2^1/_4$ wünschenswerth.

2) Wir müssen hierbei genau so verfahren, wie in der gemeinen Algebra: diejenige Begriffsbestimmung, welche für den einfachen Fall Geltung besitzt, auf den zusammengesetzten anwenden.

für das zusammengesetzte System zwei beliebige, zu einander gehörige Bildpunkte zu suchen, und deren Entfernung von dem Mittelpunkt des Systems zu bestimmen. Zu diesem Behufe wollen wir ein Strahlenbündel betrachten, welches in der Mitte zwischen den beiden Linsen des Systems parallel zur Hauptsache verläuft. Dasselbe muss vom ersten Hauptbrennpunkte B_1^1 der ersten Linse ausgehen, und nach dem zweiten Hauptbrennpunkte B_2^2 der zweiten Linse hingehen. (Vgl S. 88). Diese beiden Punkte B_1^1 und B_2^2 sind also offenbar zwei zusammengehörige Bildpunkte des Systems. B_1^1 steht vom Mittelpunkt der ersten Linse ab um F_1; B_2^2 vom Mittelpunkt der zweiten um F_2; es ist also $\frac{1}{\Phi} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2}$.[1])

Stehen zwei Convexlinsen von je 40″ Brennweite dicht hintereinander auf der nämlichen Hauptachse, so hat das daraus zusammengesetzte System die Brechkraft $\frac{1}{40} + \frac{1}{40} = \frac{1}{20}$; die Brennweite des Systems ist gleich 20″. Steht eine Sammellinse von 40″ Brennweite und eine von 20″ Brennweite dicht hintereinander auf der nämlichen Hauptachse, so ist die Brechkraft des daraus zusammengesetzten Systems $\frac{1}{40} + \frac{1}{20} = \frac{1}{13}$; die Brennweite dieses Systems ist gleich 13″.

Steht endlich eine Sammellinse von 40″ Brennweite und eine

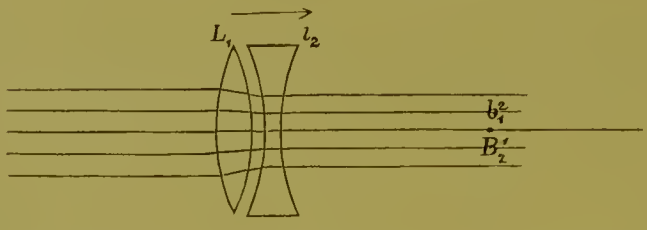

Fig. 36.

Ein paralles Strahlenbündel fällt auf die Sammel-Linse L_1, deren zweiter Hauptbrennpunkt in B_2^1 liegt, woselbst auch der erste Hauptzerstreuungspunkt b_1^2 der concaven Linse l_2 liegt. Ein Strahlen-Bündel, das nach dem hinter der Concavlinse gelegenen Hauptzerstreuungspunkte hinzielt, wird durch die zerstreuende Wirkung der Linse wieder in ein der Hauptachse paralleles umgewandelt.

Zerstreuungslinse von 40″ Zerstreuungsweite dicht hintereinander auf der nämlichen Hauptachse, so ist die Brechkraft des daraus zusammen-

---

1) Man könnte nur fragen, von welchem Punkte ab Φ zu rechnen sei. Ist das System aber sehr dünn, $O_1 O_2$ sehr klein gegen Φ: so scheint dies unerheblich: jedenfalls wird optischer Mittelpunkt des Systems ein Punkt Ω zwischen O_1 und O_2, für welchen $O_1 \Omega : \Omega O_2 = F_1 : F_2$.

gesetzten Systems $\frac{1}{40} - \frac{1}{40} = 0$, also $= \frac{1}{\infty}$, die Brennweite gleich ∞, die Ablenkung der Strahlen unmerklich.

Die beiden Gläser $+ \frac{1}{40}$ und $- \frac{1}{40}$ heben einander vollständig auf. Ist aber die Brechkraft des Zerstreungsglases, absolut genommen, nicht genau gleich der Brechkraft des Sammelglases; so ist auch die Ausgleichung nur eine theilweise.

Nun hat man neuerdings, seit etlichen Jahren, begonnen, auf dem Gebiete der Brillenlehre das Zollmaass zu verabscheuen.

Es ist ja richtig, dass der Zoll ursprünglich den zwölften Theil der Länge des menschlichen Fusses (oder auch die Länge des menschlichen Daumens, richtiger des Daumen-Endgliedes)[1]) bedeutet und in den verschiedenen Ländern verschiedene Werthe besitzt, wie ja auch einzelne Völker namentlich ihren Frauen eine besondere Kürze des Fusses nachzurühmen lieben.

Hingegen ist der Meter von einer unveränderlichen Grösse, der des Erdballes, abgeleitet. Der Meter ist ja der zehnmillionste Theil eines Viertels des Erdmeridians, also $\frac{1}{10\,000\,000}$ des Erdquadranten. Der tausendste Theil eines solchen Meters ist der Millimeter. Der altfranzösische (pariser) Zoll hat 27 Millimeter, der preussische Zoll etwas über 26 Millimeter, der englische Zoll $25^1/_2$ Millimeter.

Aber so sehr bedeutend sind diese Unterschiede in der Praxis der Brillenwahl denn doch nicht, wie man sehr leicht ermessen kann. Stärkere Gläser als + 2 Zoll werden kaum verordnet; 2 pariser Zoll sind 54 Millimeter, 2 englische Zoll sind 51 Millimeter.

Der Unterschied beträgt also im allerungünstigsten Falle 3 Millimeter oder weniger als 6% der in Betracht kommende Grösse. ($54 - 51 = 3$; $\frac{3}{51} = \frac{6}{100}$ ungefähr.)

Meist ist aber der procentarische Werth des Unterschiedes beträchtlich geringer und ganz zu vernachlässigen.[2]) Ich verordnete einem ältlichen Herrn als bestes Glas in preussischem Zollmaass für das eine Auge $+ {}^1/_{40}''$ und $+ {}^1/_{14}''$ für das andere Auge. Der Mann, welcher die Hälfte des Jahres in England lebt, liess dort von

---

1) Zoll, lat. *pollex* = Daumen. Der Daumen ist aber 2″ lang, jedes Glied desselben = 1″! Die grosse Zehe des Fusses ist noch länger.

2) Vergl. Mauthner, Vorles. I, S. 269.

Neuem seine Brille bestimmen; er erhielt für das erste Auge + $^1/_{40}$″ und für das zweite Auge + $^1/_{11}$″ in — englischem Zollmaass. Man begreift, dass der Unterschied nicht gross sein kann zwischen einem Glase von 1020 Millimeter[1]) und einem von 1040 Millimeter Brennweite; der Unterschied beträgt weniger als 2% der in Betracht kommenden Grösse, während sehr gute Physiker, bei Abmessung von verschiedenen Helligkeitsgraden mit blossem Auge, Beobachtungsfehler bis zu 5% der zu messenden Grösse willig zugestehen.

Aber trotzdem könnte nicht viel dagegen eingewendet werden, wenn man die Brillengläser fürderhin nach dem Metermaass eintheilen wollte, da dann jeder Unterschied nach den Ländern entfiele.

a) Zu diesem Behufe könnte man den Millimeter zur Maasseinheit wählen. Dann würde die Brechkraft der Linse von 1 Millimeter Brennweite die Einheit darstellen. In der That ist diese Bezeichnungsweise schon lange üblich in der wissenschaftlichen Optik; wir werden davon auch in der theoretischen Dioptrik des Auges Gebrauch zu machen haben.

Aber für die praktische Brillenbestimmung wäre dies weniger bequem, weil man dann diejenigen Gläser, welche am häufigsten verordnet werden, nämlich die schwächsten des Brillenkastens, mit zu grossen Ziffern zu schreiben hätte. Es wäre z. B. $^1/_{40}$ in Zollmaass gleich $^1/_{1040}$ in Millimetermaass.

b) Praktischer wäre schon die Bezeichnung der Brillengläser nach Centimetern; $^1/_{40}$ in Zollmaass wäre $^1/_{100}$ in Centimetermaass, wie denn überhaupt mit einer auf diesem Gebiet ausreichenden Genauigkeit 1″ = 2·5 Cm.

c) Man hat jedoch die Reform des Brillenkastens in einer anderen Weise durchzuführen gesucht: man hat die Brechkraft der Linse von 1 Meter Brennweite zur Einheit gewählt und Dioptrie genannt.[2]) Von Nagel[3]) ist die Idee, von Monoyer der Name, von Donders die Einführung, von Hasner, Mauthner[4]) und mir der Widerspruch.

Danach werden die häufiger gebrauchten, dünneren oder schwächeren Gläser mit kleineren Zahlen; die seltener verordneten, stärkeren Gläser mit grösseren Zahlen geschrieben.

---

1) 40 × 25·5 = 1020.
40 × 26 = 1040.

2) Es heisst eigentlich ἡ διοπτρεία das Visiren.

3) Nagel gebraucht den Namen Meterlinse (Ml.).

4) Vorles. I. Bd.

Goldene Berge hat man sich von der Einführung der Dioptrie versprochen. Die Vereinfachung der Rechnungen auf dem Gebiet der praktischen Brillenwahl ist aber nur eine scheinbare, die durch anderweitige Erschwerungen erkauft werden muss. Vor Allem sind aber in zahlreichen Veröffentlichungen über die Dioptrie aus den letzten Jahren, ganz abgesehen von unangenehmen Weitschweifigkeiten, sogar nicht unerhebliche Fehler anzutreffen, selbst in den neueren Auflagen mancher Lehrbücher der Augenheilkunde.

Man hat gewöhnlich, weil ja ein Meter = 37 pariser Zoll, das Glas von + 37 oder + 36 der alten Bezeichnungsweise für die Dioptrie ausgegeben.

Diese Gleichsetzung beruht auf einem optischen Irrthum. Ich erwähnte vorher schon, dass die alte Bezeichnungsweise der geschliffenen Linsen nur nominell nach der Brennweite F gemacht wurde. In Wirklichkeit vermerkten die Brillenschleifer auf jedem Glas mit dem Diamantstift nur den in Zollmaass ausgedrückten Halbmesser r der Schleifschale, auf welcher das betreffende Glas geschliffen wurde. Allerdings wäre r identisch mit F unter der Voraussetzung, dass der Brechungsindex n des Brillenglases gleich $\frac{3}{2}$.

Denn die Formel, welche die Beziehung zwischen den Radien des Brillenglases und seiner Brennweite regelt, lautet $\frac{1}{F} = (n - 1)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$[1] oder wenn, wie bei den gewöhnlichen ebenmässigen Brillengläsern, beide Flächen gleich gekrümmt sind, $\frac{1}{F} = (n - 1) \times \frac{2}{r}$. Also wenn $n = \frac{3}{2}$ gesetzt würde, ist

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{r} = \frac{1}{r}, \text{ d. h. } F = r.$$

In der That war aber jene Voraussetzung nicht richtig.

Der Brechungsindex des deutschen (Rathenower) Brillenglases ist, soweit von Gleichmässigkeit hierbei die Rede sein kann, gleich 1·528 für die hellsten Strahlen des Spectrum, in der Gegend der Fraunhofer'schen Linie D, mit denen wir hauptsächlich beim Sehen unsere Netzhautbilder gewinnen. Folglich ist.

$$\frac{1}{F} = 0{\cdot}528 \times \frac{2}{r},$$

1) Vgl. den Anhang am Schluss dieses Hauptstückes.

$$\frac{1}{F} = \frac{1{\cdot}05}{r},$$
$$r = 1{\cdot}05\ F.$$

Ist die Brennweite des mit dem Namen der Dioptrie bezeichneten Glases gleich einem Meter = 38·2 preussischen Zollen; so war der Radius der für diese Convexlinse benützten Schleifschale 38·2 × 1·05 = 40·110 oder 40 Zoll.[1])

Das der Dioptrie entsprechende Glas der alten Bezeichnung ist 40. Um altes Maass (a) in neues (n) zu verwandeln oder umgekehrt, gilt die einfache Formel; 1) $a \times n = 40$[2]); oder $a = \frac{40}{n}$; oder $n = \frac{40}{a}$.

Das französische Brillenglas ist schwerer und vom Index $n = 1{\cdot}53$, dafür der französische Zoll etwas länger. Für die Franzosen gilt $\frac{1}{F} = \frac{2 \times 0{\cdot}53}{r \cdot} = \frac{1{\cdot}06}{r}$, also $r = 1{\cdot}06\ F$. Der Meter ist gleich 37 französischen Zollen, $1{\cdot}06 \times 37 = r = 39{\cdot}22$; so dass auch die Franzosen der Wahrheit am nächsten kommen, wenn sie die Dioptrie gleich ihrem Glas 40 nach alter Bezeichnung setzen.

Die Wahrheit ist an sich besser, als der Irrthum; aber zufällig ist sie auf diesem Gebiete auch das einfachere und erspart uns zahlreiche Brüche in den Umrechnungstafeln.[2])

Denn nach dem Gesagten ist einfach:

Zollmaass	Dioptrien	Dioptrien	Zollmaass
80	0·5	0·5	80
60	0·75	0·75	60
40	1·0	1·0	40
36	1·1		
30	1·3 (1·25)	1·25	30
24	1·6 (1·5)	1·5	24
22	1.75	1·75	22
20	2	2	20

1) Vergl. Hirschberg, Centralbl. f. pr. Augenheilk. 1877, S. 202 und Fortschr. d. Physik, XXXI, S. 497.

2) Man vergl. mit unserer Tabelle die von Snellen (Optotypi, 1879): 1 $D = \frac{1}{37}$, 2 $D = \frac{1}{18^1/_2}$; 3 $D = \frac{1}{12^1/_3}$; 4 $D = \frac{1}{9^1/_4}$ u. s. f. — Der Optiker Fritsch in Wien nimmt 0.25 D zur Einheit (= 1 Monie), um Brüche in der Reihe zu vermeiden.

Zollmaass	Dioptrien	Dioptrien	Zollmaass
18	2·25		
16	2·5	2·5	16
14	2·75		
13	3	3	13
12	3·3 (3·25)		
11	3·6 (3·5)	3·5	11
10	4	4	10
9	4·4 (4·5)	4·5	9
8	5	5	8
7	5·6 (5·5)		
$6^1/_2$	6	6	$6^1/_2$
6	6·6 (6·5)		
$5^1/_2$	7	7	$5^1/_2$
5	8	8	5
$4^1/_2$	9	9	$4^1/_2$
4	10	10	4
$3^3/_4$	10·7 (10·75)		
$3^1/_2$	11·4 (11·5)	11	$3^1/_2$
$3^1/_4$	12·3 (12·25)	12	$3^1/_4$
3	13	13	3
$2^3/_4$	14·5 (15)	15	$2^3/_4$
$2^1/_2$	16		
$2^1/_4$	17		
2	20	20	2
$1^1/_2$	27		
$1^1/_4$	30	30	$1^1/_4$
1	40	40	1

Aus der zweiten Tabelle ersieht man, dass die gebräuchlichen Gläser der Dioptrienreihe unter anderer Bezeichnung in der Zollreihe enthalten sind. Der praktische Arzt braucht sich wahrlich nicht um die müssige Frage zu kümmern, ob die Brillenschleifer der Reform zuliebe ihre alten Schleifschalen verworfen und neue nach Metermaass eingerichtet haben; jedenfalls braucht er keinen „metrischen Brillenkasten“: er kann in einem Brillenkasten mit Zollbezeichnung neben den alten Zahlen die neuen verzeichnen.[1])

1) Mauthner (Vorles. I. pag. 277) ist der Ansicht, dass den Brillenhändlern die Reform des Brillenkastens weniger Mühe gemacht hat, als den Augenärzten.

Da eine Reihe von Lehrbüchern im Dioptrienstyl geschrieben ist; ja da über den Begriff der Dioptrie sehr viele Zeitschriftsabhandlungen, besondere Schriftchen, selbst dicke Bücher verfasst sind; da viele, ja die meisten Brillenkasten und Augenspiegel nach dieser Weise bezeichnet werden: so konnte ich nicht umhin, diesen Gegenstand abzuhandeln. Ich ersuche aber den wissenschaftlichen Arzt, sich für beide Sättel gerecht zu halten, und es nicht für ein Unglück anzusehen, wenn einmal zwei einfache Brüche behufs der Brillenwahl zu addiren sind. Dies sollte ja nach Ansicht Vieler der Vortheil der Dioptrienreihe sein, dass die Bruchrechnungen vermieden werden.[1])

α) Ein Star-Operirter brauche, wie das einfache Aussuchen gelehrt hat, das Glas + 10 *D* zum Fernsehen. Wir wollen ihm, da er keine Accommodation für die Nähe besitzt, durch ein Hilfsglas von 6 *D* seine Accommodation ersetzen, d. h. ihn zum Lesen von Druckschrift befähigen. Welches ist sein Leseglas? $10 + 6\ D = 16\ D$.

β) Der Star-Operirte braucht zum Fernsehen das Sammelglas von

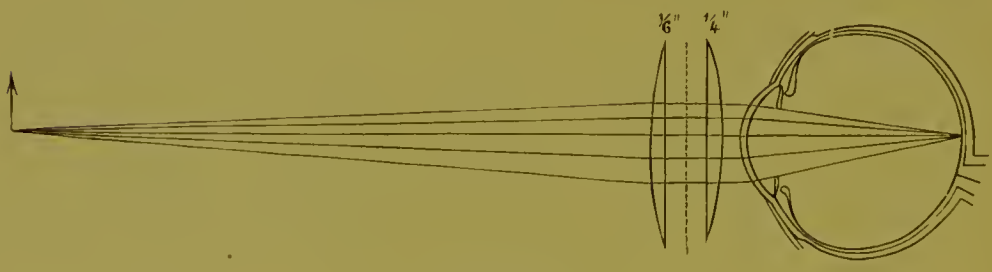

Fig. 38.

---

1) Und ich will nicht leugnen, dass man ja hie und da vielleicht ein wenig schneller rechnet. Wer aber Mauthner's Beispiel $\frac{1}{60} + \frac{1}{36}$ rasch im Kopf erledigen will, ersetzt es durch $\frac{1}{60} + \frac{1}{30}$ und findet sofort annähernd $\frac{1}{20}$.

$\left(\text{Genau } \frac{1}{22.5}.\right)$

Ein ausgezeichneter Fachgenosse behauptet, dass, wenn ein Myop von $\frac{1}{3^3/_4}$" eine Brille für 10" Entfernung erhalten sollte, man rechnen müsste

$$\frac{1}{3^3/_4} + \frac{1}{x} = \frac{1}{10};\quad \frac{1}{x} = \frac{1}{10} - \frac{1}{3^3/_4} = \frac{1}{10} - \frac{1}{{}^{15}/_4} = \frac{15-40}{150} = -\frac{25}{150} = -\frac{1}{6}!$$

Ich rechne, nach dem bekannten Muster des witzigen Schülers, $-\frac{1}{4} + \frac{1}{10} = -\frac{6}{40} = -\frac{1}{7}$. (Ungefähr.) Doch habe ich durchaus nichts dagegen, wenn Jemand Javal's *Règle à calcul*, Snellen's Dioptriemmaass, H. Cohn's Dioptrienlineal benutzen möchte, um diese Rechnungen zu ersparen.

der Brechkraft $\frac{1''}{4}$; damit vermag er parallel einfallende Strahlenbündel auf seiner Netzhaut zu punktförmigen Bildern zu vereinigen. Soll er in 6 Zoll Entfernung lesen; so braucht er noch dazu ein Glas, welches die aus der Entfernung von 6 Zoll ausfahrenden Strahlenbündel parallel macht, d. i. $\frac{1''}{6}$. Er braucht also zum Lesen das Glas

$$\frac{1}{4}+\frac{1}{6}=\frac{10}{24}=\frac{1}{2^1/_2}.$$ [1])

Schwierig sollte die letztere Rechnung wissenschaftlichen Aerzten nicht vorkommen. Anschaulicher ist sie jedenfalls, da sie weniger das Gedächtniss belastet, als die Ueberlegung in Anspruch nimmt. Ausserdem nützlicher, namentlich vielseitiger, da man genau ebenso rechnet $\frac{1}{4}+\frac{1}{8}$ oder $\frac{1}{4}+\frac{1}{12}$ u. s. f.: je nachdem das Buch in 8 oder 12 Zoll Entfernung gehalten wird.

Anm. Man hat bei der Dioptrienrechnung die Gleichung 1) $\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$ umgewandelt in 2) $F'=f'+f''$.

Der wahre Unterschied zwischen Gleichung 1 und 2 ist der, dass man aus einer Gleichung zweiten Grades durch Fortlassen des einen Factors eine Gleichung ersten Grades übrig gelassen hat, z. B. $(x-a)=0$, aus $(x-a)(x-b)=0$. Beziehen wir die zusammengehörigen Vereinigungsweiten auf die Brennpunkte, so wird aus 1 bekanntlich 1a) $\varphi_1\,\varphi_2=FF$. Suchen wir diejenigen Punktpaare, für welche $\varphi_1=\varphi_2$: so folgt aus $FF-\varphi_1\,\varphi_1=o$ sofort $\varphi_1=\pm\sqrt{FF}=\pm F$: d. h. es giebt zwei derartige Punktpaare; ein Ergebniss, das in Gleichung 2 nicht mehr enthalten ist. Denn die Bedingung $f_1=f_2$ giebt $f'=f''$ oder $F'=2f'$, d. h. $f_1=2F$: man erhält nur das eine Punktpaar.

3. Dioptrik des Auges.

Im menschlichen Auge findet eine ganze Reihe von Lichtbrechungen statt; man kann dieselben ersetzt denken durch zwei Hauptbrechungen: 1. an der Hornhaut, 2. an der Crystall-Linse.

Ich habe diese beiden Brechungen zu erläutern und anzugeben: I. die Thatsachen, II. den Experimentalbeweis ihrer Richtigkeit, III. die elementar-mathematische Ableitung. (Die letztere werde ich aber, nach Galen's weisem Vorgang, an den Schluss der Abhandlung versetzen.)

---

2) $\frac{1}{6}+\frac{1}{4}=\frac{1}{4}+\frac{1}{6}$.

Der Deutlichkeit wegen ist in der Figur 38 der Gegenstand drei Zoll, nicht sechs Zoll, vom Auge entfernt.

I. In einem mittleren, normalsichtigen Menschenauge hat die Hornhaut einen mittleren Krümmungshalbmesser von etwa 7·7 Mm. und vereinigt ein von einem sehr fernen Lichtpunkte herkommendes, nahezu parallel einfallendes Strahlenbündel etwa 30 Mm. (etwas mehr als 1 Zoll) hinter ihrer Vorderfläche, also ungefähr 6 Mm. hinter der Netzhaut, da die Länge des mittleren, normalsichtigen Auges etwa 24 Mm. beträgt. (Fig. 39, A.)

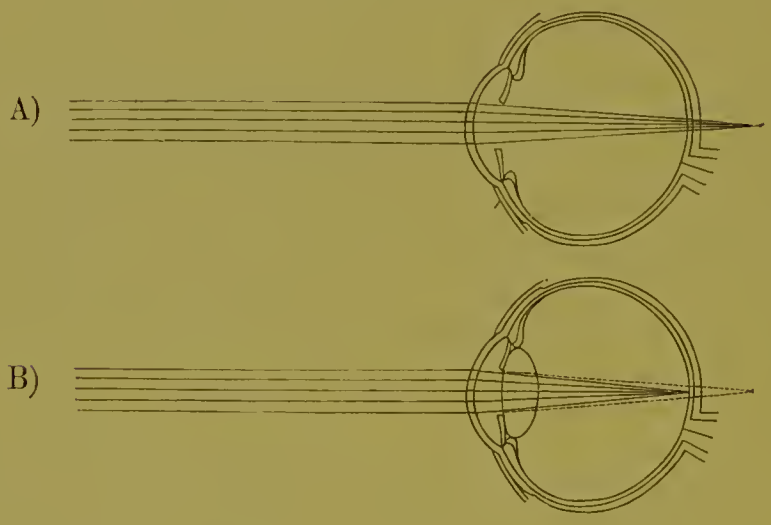

Fig. 39.

Damit das parallel einfallende Strahlenbündel, welches in Folge der Brechung an der Hornhaut convergirend durch das Kammerwasser zieht, nicht hinter, sondern genau auf der Netzhaut zu einem punktförmigen Bilde vereinigt werde, ist noch ein zweiter, lichtsammelnder Apparat erforderlich. Dieser wird von der Crystall-Linse gebildet. Die letztere hat, wenn sie ihre flachste Form angenommen, d. h. wenn der Ciliarmuskel erschlafft, das normalsichtige Auge für seinen fernsten Punkt eingestellt ist, eine Brennweite von nahezu 60 Mm., oder mehr als 2 Zoll. Dies genügt, da ihr optischer Mittelpunkt 6 Mm. hinter der Hornhaut liegt, um das schon convergirend durch das Kammerwasser ziehende Strahlenbündel rascher convergent zu machen, so dass es genau in der Netzhaut zu einem punktförmigen Bilde vereinigt wird.[1]) (Fig. 39, B.)

Besondere Beachtung verdient die Thatsache, dass die Hornhaut das wichtigere Objectiv des fernsehenden Auges

---

1) $\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}$; $-\frac{1}{24} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{60}$; $\frac{1}{f_2} = \frac{1}{60} + \frac{1}{24} = \frac{24+60}{1440}$; $f_2 = \frac{1440}{84}$ = 17.

darstellt; sie leistet $^2/_3$, die Linse nur $^1/_3$ der nöthigen Brechkraft, beim Fernsehen des normalsichtigen Auges. Denn es ist $\frac{1}{30} = 2 \times \frac{1}{60}$.

Daher ist leicht zu verstehen, wie schon geringe Unregelmässigkeiten der Hornhaut im Pupillenbereich sehr störend auf die Sehkraft, besonders beim Fernsehen, einwirken müssen. (Weit mehr als geringe Unregelmässigkeiten der Crystall-Linse.)

II. Um von den beiden Hauptwerthen der Lichtbrechung im Auge eine erfahrungsmässige Ueberzeugung zu gewinnen, schalten wir einfach den einen der beiden Bestandtheile aus; dann haben wir den Werth des anderen.

A. Die Hornhautbrechung wird ausgeschaltet, indem man das Auge unter Wasser taucht. Die Hornhautkrümmung trennt dann nicht mehr, wie bei dem in Luft befindlichen Auge, zwei optisch verschiedene Mittel; sondern sie befindet sich zwischen zwei in optischer Hinsicht gleichwerthigen Mitteln. Lichtbrechung muss jetzt aufhören, denn sie bedeutet ja Änderung der Lichtgeschwindigkeit beim Uebergang des Lichtes aus einem Mittel in ein anderes, das von ersterem optisch verschieden ist.

Ein Auge, welches mit guter Fernsicht begabt, d. h. in Luft für parallele Strahlenbündel eingestellt ist, vermag unter Wasser nicht mehr gut in die Ferne zu sehen, wenn das Wasser auch noch so klar ist; das parallel einfallende Strahlenbündel wird jetzt von der Hornhaut nicht gebrochen, gelangt also in paralleler Richtung auf die Crystall-Linse, welche das Bündel nach einem 60 Mm. dahinter, also erst 43 Mm. hinter der Netzhaut belegenen Punkte vereinigt. Auf der Netzhaut entsteht ein grosser, lichtschwacher Zerstreuungskreis des fernen Lichtpunktes. (*F G*, Fig. 40.)

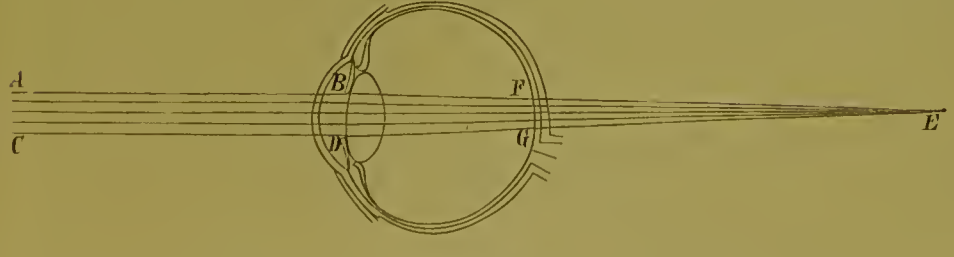

Fig. 40.

Soll das in der Luft fernsichtige Auge, auch unter Wasser getaucht, wieder gut in die Ferne sehen, so muss es, wie der Versuch zeigt, den Ausfall der Hornhautbrechung ersetzt bekommen: man muss ihm eine Sammellinse vorhalten, der in Wasser eine Brennweite von nahezu $1^1/_2$ Zoll zukommt.

Eine gewöhnliche Glaslinse von $^1/_2$ Zoll Brennweite erlangt unter Wasser eine Brennweite von etwa $1^1/_2$ Zoll.*)

Sowie man aber, mit dieser Linse bewaffnet, wieder in die Luft emportaucht, ist Fernsicht unmöglich. Die Fernpunktsebene ist dicht vor dem Auge, in $\frac{1}{2}$" Entfernung, festgebannt, ähnlich wie bei einem in Luft emporgetauchten Fischauge.

Eine gute Taucherlinse, welche das Umhersehen nicht stört, wenn man zum Luftschöpfen den Kopf aus dem Wasser hebt, verfertigt man einfach aus jenen alterthümlichen, stark gekrümmten Uhrgläsern, die von einer Hohlglaskugel von etwa $2^1/_2$ Zoll Durchmesser, also $^5/_1$ Zoll Halbmesser, entnommen und durch eine passende Fassung zu einer biconcaven, mit Luft gefüllten Linse vereinigt werden. Dieser kommt in Luft eine neutrale Wirkung zu, wie einer doppelten Schutzbrille: in Wasser aber erlangt sie eine positive Brennweite von $1^1/_2$ Zoll.

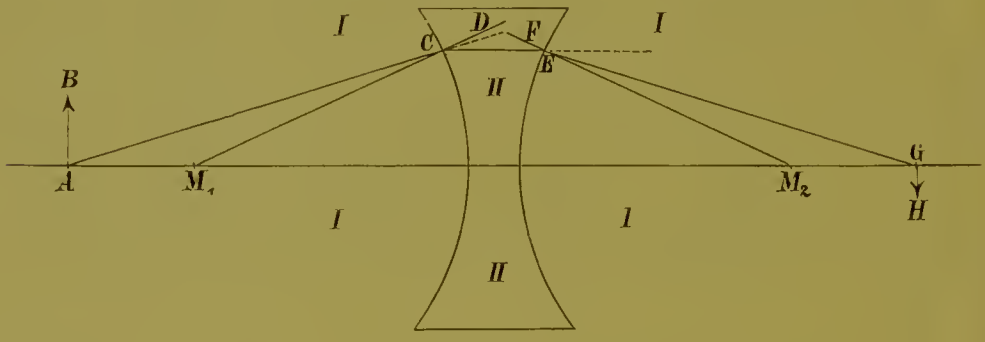

Fig. 41.

Fig. 41. Wirkung der Taucherlinse, unter Wasser. I Wasser, II Luft. AB sei ein lichtaussendender Gegenstand unter Wasser; AC ein Lichtstrahl. $M_1 CD$ ist das Einfallsloth in C. CE ist der gebrochene Strahl. Der Brechungswinkel DCE

*) $\frac{1}{F} = \frac{n_2 - n_1}{n_1}\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$. Für Glaslinsen in Luft ist $\frac{n_2 - n_1}{n_1} = 1{\cdot}5 - 1 = \frac{1}{2}$. Für Glaslinsen in Wasser ist $\frac{n_2 - n_1}{n_1} = \frac{1{\cdot}5 - 1{\cdot}3}{1{\cdot}3} = 0{\cdot}153 = \frac{1}{6}$. Es verhält sich also die Brennweite der Glaslinse in Luft Fl zur Brennweite derselben Glaslinse in Wasser Fw folgendermassen. $Fl : Fw = 2 : 6 = 1 : 3$.

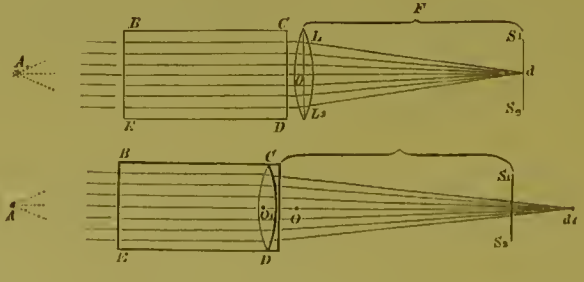

Fig. 42.

Da auf diesem Gebiete in ärztlichen Schriften irrthümliche Angaben verzeichnet sind, so wollen wir bei dieser Gelegenheit noch ein einfaches Beispiel betrachten. Ein

muss grösser sein, als der Einfallswinkel ACM_1, da das Licht aus Wasser in Luft eindringt. Der Strahl CE wird bei E zum zweiten Mal gebrochen. $M_2\,E\,F$ ist das Einfallsloth. Der Brechungswinkel GEM_2 muss kleiner sein als der Einfallswinkel FEC, da das Licht jetzt aus Luft in Wasser austritt. G ist Bildpunkt von A; GH Bild von AB.

$\frac{1}{F} = \frac{n_2 - n_1}{n_1}\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$ wird für unsere Taucherlinse

$$\frac{1}{F} = \frac{1-\frac{4}{3}}{\frac{4}{3}}\left(\frac{-5}{4} + \frac{-5}{4}\right) = \left(\frac{3-4}{4}\right) \times \left(\frac{-10}{4}\right) = +\frac{10}{16};\ F = \frac{16}{10} = 1\tfrac{1}{2}''.$$

Die Ersatzlinse für die ausgeschaltete Hornhaut hat eine Brennweite, die nicht genau gleich 30 Mm. oder $1^1/_8''$, sondern etwas länger ist, weil die Ersatzlinse eben nicht an den Ort der Hornhaut gebracht wird, sondern etwa $^1/_4$ bis $^1/_2$ Zoll vor derselben; also um diese Grösse weiter ab von der Netzhaut entfernt bleibt.

B. Die Ausschaltung der Crystall-Linse geschieht sehr häufig, namentlich durch operative Entfernung der trüb gewordenen Crystall-Linse. Die Erfahrung lehrt, dass ein fernsichtiges Auge, wenn es starblind geworden und dann mit Erfolg operirt ist, eine convexe Glaslinse von etwa 3—$3^1/_2$ Zoll Brennweite aufsetzen muss, um deutlich in die Ferne zu sehen. Auch hier darf man sich nicht wundern, dass die Ersatzlinse eine etwas längere Brennweite besitzt, als die ersetzte Crystall-Linse, da die erstere nicht an den Ort der letzteren gebracht werden kann, sondern mindestens $^1/_2$ Zoll davor steht, also um diese Grösse weiter von der Netzhaut entfernt bleibt.

Wenn man jetzt die Wirkung der Hornhaut und die der Crystall-Linse (nach S. 96) vereinigen wollte, so erhielte man für die Gesammtwirkung des Auges, in Millimeter-Mass,

---

planparalleler Glaskasten $BCDE$, mit Wasser gefüllt, sei aufgestellt in der Entfernung Od vor einem lichtauffangenden Schirm $S_1\,S_2$. (Fig. 42.) Von einem sehr fernen Lichtpunkt A komme ein Strahlenbündel, welches parallel auf den Glaskasten fällt, in paralleler Richtung ungebrochen denselben durchsetzt und auf die (in Luft befindliche) Convexlinse $L_1\,L_2$ fällt. Soll ein scharfes Bild von A in d entworfen werden, so muss die Brennweite der Linse $F = Od$ sein. Nunmehr werde die Linse in den Glaskasten eingesetzt. Es sei die Entfernung $O\,O'$, der Abstand der beiden Lagen ihres Knotenpunktes, sehr klein gegen Od, ihre Brennweite in Luft. Nichtsdestoweniger wird jetzt in d nicht mehr ein scharfes Bild von A, sondern ein grosser Zerstreuungskreis zu Stande kommen. Denn in Wasser ist die Brennweite der Linse beträchtlich länger als in der Luft, im Verhältniss von 6 : 2.

Wählen wir eine Sammellinse L, welche vor der Hornhaut, in Luft befindlich, das Auge corrigirt. Denken wir uns jetzt dieselbe Sammellinse L hinter der Hornhaut im Kammerwasser angebracht; so würde sie nicht mehr corrigiren, sondern müsste einen beträchtlich (etwa im Verhältniss von 1 : 3) kürzeren Krümmungsradius erhalten, um die Correction aufrecht zu erhalten.

$$\text{a)}\quad \frac{1}{F_c}+\frac{1}{F_l}=\frac{1}{30}+\frac{1}{60}=\frac{2}{60}+\frac{1}{60}=\frac{1}{20}.$$

Betrachtet man aber mit dem Augenspiegel das aufrechte Bild der Netzhaut, so hängt die Vergrösserung des Bildes ab von der Lupenwirkung des untersuchten Auges. Man kann das Bild des Sehnervenaustritts, der thatsächlich 1·5 Mm. hoch ist, auf ein hinter dem Kopf des Untersuchten, 216 Mm. vom Knotenpunkt seines Auges, angebrachtes Gitternetz projiciren und findet dabei die Vergrösserung $v=14$.

Nun ist $v=\frac{216}{x}$, wo x die Brennweite des aus Hornhaut und Crystall-Linse zusammengesetzten Systems darstellt. (Vgl. S. 92.)

$$\text{b)}\quad x=\frac{216}{14}=15.\quad \text{(In abgerundeter Zahl.)}$$

Es war auch von vorn herein anzunehmen, dass auf den vorliegenden Fall die einfache Gleichung a) nicht passen würde, da ja erstens die beiden Linsensysteme, der Hornhaut und des Crystallkörpers, nicht dicht bei einander auf derselben Achse stehen; zweitens die Dicke der Crystall-Linse im Verhältniss zu ihrer Brennweite nicht unbeträchtlich ist. (4 : 60). Der Versuch lehrt, dass die Brennweite des brechenden Gesammtsystems vom Auge nicht 20, sondern 15 Mm. beträgt.

4. Refractionszustände.

Wir veranschaulichen also die Gesammtbrechung des für seinen Fernpunkt eingestellten Auges am besten und natürlichsten durch ein Simplum, d. h. durch eine einzelne brechende Kugelfläche oder Hornhaut zwischen Luft von der Brechungszahl 1 und Kammerwasser von der Brechungszahl $\frac{3}{4}$. Der Krümmungshalbmesser dieser Hornhaut beträgt 5 Mm., der Knotenpunkt steht also 5 Mm., die Netzhaut 20 Mm. von der Hornhaut ab; die vordere Hauptbrennweite dieses „schematischen, reducirten“ Auges beträgt 15, die hintere 20 Mm.

Dieses Auge wird von sehr fernen Gegenständen Bilder liefern, welche denen des wirklichen, mittleren Normalauges annähernd gleich sind. Dieselbe Bedingung erfüllt ein System, bestehend aus einer kleinen, dünnen Glaslinse in Luft, von 15 Mm. Brennweite, in deren hinterer Hauptbrennebene der lichtauffangende Schirm (Netzhaut) aufgestellt ist. Diejenigen, denen der Begriff des Simplum Schwierigkeiten macht, mögen sich an das

letztgenannte Schema halten, das uns überhaupt für einzelne Fälle nützliche Dienste leistet.

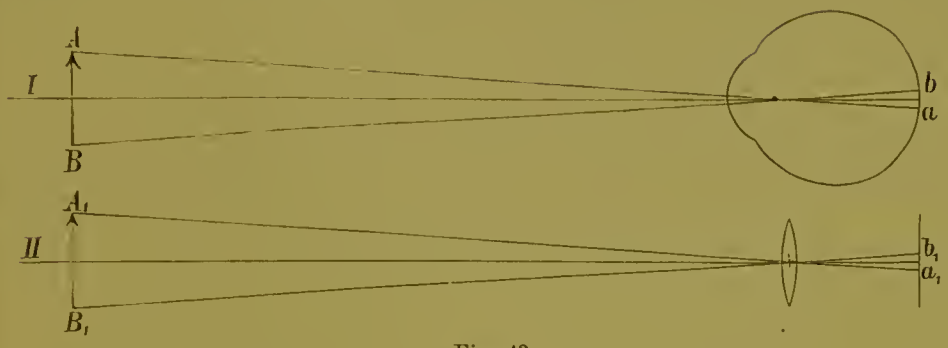

Fig. 43.

Man kann die Grösse des von einem solchen reducirten Auge gelieferten Netzhautbildes sehr bequem im Kopf ausrechnen. Es befinde sich ein lichtaussendender Gegenstand von 1 Meter (= 1000 Mm.) Grösse in 10 Meter (= 10.000 Mm.) Entfernung vom schematischen Auge. Wie gross ist das Netzhautbild?

Bildgrösse *(b)* verhält sich zur Objectgrösse *(O)* wie Bildentfernung *(e)* zur Objectentfernung *(E)*, beide vom Knotenpunkt aus gerechnet.

$$\frac{b}{O} = \frac{e}{E} \text{ oder } b = \frac{15 \times 1000}{10.000} = 1{\cdot}5 \text{ Mm.} = P \text{ (Sehnervenbreite).}$$

Mit Hilfe jenes zweiten Schema's (Fig. 45, S. 110) ist auch sofort ersichtlich, dass drei verschiedene Arten von Augen, die für ihren Fernpunkt eingestellt sind, oder drei Arten von Fernpunktslagen überhaupt gedacht werden können, und alle drei Arten der Refraction kommen erfahrungsgemäss beim Menschen vor.

Es kann nämlich die Netzhaut entweder 1) in der hinteren Hauptbrennebene des brechenden Systems, oder 2) hinter derselben, oder 3) vor derselben sich befinden. Die erste Lage bedingt Normalsichtigkeit (Emmetropie), die zweite Kurzsichtigkeit, die dritte Uebersichtigkeit.

Für die Unterschiede der drei Refractionszustände ist ein algebraischer Ausdruck leicht zu finden.

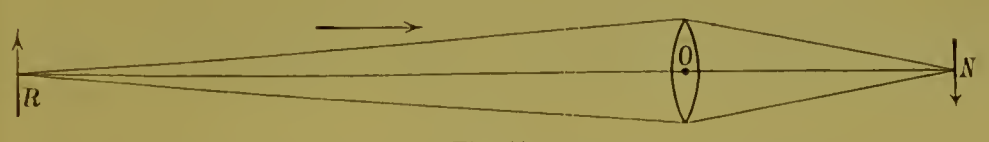

Fig. 44.

Es sei das für seinen Fernpunkt eingerichtete Auge schematisirt durch eine Glaslinse von 15 Millimeter Brennweite; N sei die Netzhaut, R der fernste Punkt, für den das Auge eingestellt werden kann; dann gilt immer 1) $\frac{1}{F} = \frac{1}{R} + \frac{1}{N}$, wo

$R = \overline{R\,O}$ den Fernpunktabstand. $N = \overline{O\,N}$ den Netzhautknotenpunktsabstand, F die (1) Hauptbrennweite oder Knotenpunkts-Hauptbrennpunkts-Entfernung des ruhenden dioptrischen Apparates des Auges bedeutet.

Aus 1) folgt 2) $\frac{1}{R} = \frac{1}{F} - \frac{1}{N}$.

$\frac{1}{R}$ hängt nicht unmittelbar oder allein von F, dem Endergebniss der optischen Constanten des Auges, sondern von $\frac{1}{F} - \frac{1}{N}$, d. h. gleichzeitig von der Länge des Auges ab. Theoretisch könnte bei verschiedenem F dieselbe Einstellung und bei demselben F eine sehr verschiedene Einstellung bestehen.

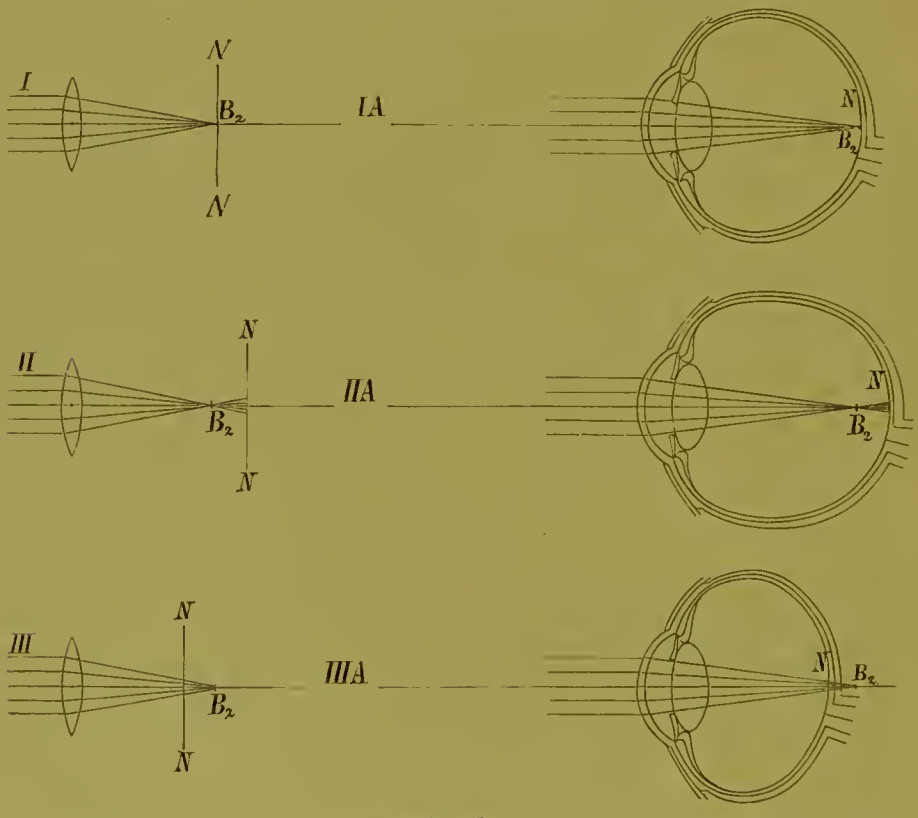

Fig. 45.

I, bezw. *I A* ist das Schema des normalsichtigen (emmetropischen) Auges. Das von einem fernen Punkt ausgehende, nahezu parallel auf das Objectiv des Auges fallende Strahlenbündel wird in der Netzhaut (*N*) vereinigt, deren Ebene mit der der hinteren Hauptbrennebene zusammenfällt. — *II*, bezw. *II A* ist das Schema des kurzsichtigen Auges. Das parallel einfallende Strahlenbündel wird natürlich in dem hinteren Hauptbrennpunkt (B_2) vereinigt, die Netzhaut *N* steht hinter B_2; auf *N* entsteht ein Zerstreuungskreis der überkreuzten Strahlen. Das kurzsichtige Auge ist scheinbar zu schwach brechend, thatsächlich zu lang gebaut. — *III*, bezw. *III A* ist das Schema des übersichtigen Auges. Das parallel einfallende Strahlenbündel wird in B_2 vereinigt Die Netzhaut steht vor B_2; auf der Netzhaut entsteht ein Zerstreuungskreis der noch nicht gekreuzten Strahlen. Das übersichtige Auge ist scheinbar zu schwach brechend, thatsächlich zu kurz gebaut.

Thatsächlich werden die verschiedenen Einstellungen erwachsener Menschenaugen hauptsächlich durch Veränderungen von *N*, bei nahezu gleichbleibendem *F*, erzeugt.

$\frac{1}{R}$ ist das natürliche Maass der Einstellung.

a) $\frac{1}{R} = o$ bedeutet Normalsichtigkeit (Emmetropie), $F = N$: Knotenpunkts-Hauptbrennpunktsabstand ist gleich Knotenpunkts-Netzhautabstand, die Netzhaut liegt in der hinteren Hauptbrennebene.

b) $\frac{1}{R} > o$ (positiv) bedeutet Kurzsichtigkeit. $\frac{1}{F} > \frac{1}{N}$, $F < N$: der Knotenpunkts — Hauptbrennpunktsabstand ist kleiner als der Knotenpunkts-Netzhautabstand, der zweite Hauptbrennpunkt liegt vor der Netzhaut; die Netzhaut liegt hinter dem zweiten Hauptbrennpunkt.

c) $\frac{1}{R} < o$ (negativ) bedeutet Uebersichtigkeit. $\frac{1}{F} < \frac{1}{N}$; $F > N$: der Knotenpunkts-Hauptbrennpunktsabstand ist grösser als der Knotenpunkts-Netzhautabstand, der zweite Hauptbrennpunkt liegt hinter der Netzhaut; die Netzhaut liegt vor dem zweiten Hauptbrennpunkt.

5. Emmetropie.

Was Ovid poetisch mit den Worten ausgedrückt hat: *Os homini sublime dedit coelumque tueri jussit,* das müssen wir praktisch für das Sehorgan des Menschen[1]) in Anspruch nehmen: wir verlangen von dem normalsichtigen Auge des Menschen, dass es scharfe Netzhautbilder selbst von unendlich fernen Gegenständen, von dem Mond und den Gestirnen, zu erlangen vermöge.

Solche Menschenaugen, deren Netzhaut in der hinteren Hauptbrennebene des Doppelobjectivs (bei abgeflachter Crystall-Linse) sich befindet, vermögen ohne Hilfsgläser sehr ferne Gegenstände deutlich zu sehen, da das von einem jeden Punkte des fernen Gegenstandes ausgehende und wegen der grossen Entfernung des Ausgangspunktes nahezu parallel auf die Hornhaut fallende Strahlenbündel zu einem punktförmigen Bilde in der Netzhaut vereinigt wird.

Durch allmähliche Anspannung ihres Accommodationsmuskels können diese Augen auch auf nähere Entfernungen eingerichtet werden, (falls der Mensch noch nicht altersschwach geworden,) und vermögen somit feine Gegenstände in der Nähe zu sehen, z. B. Druckschriften in 8—12 Zoll (20—30 Ctm.) Entfernung zu lesen.

Diese Augen erfüllen also die Anforderungen, die man berechtigt ist, an ein menschliches Sehorgan zu stellen, in vollkommener Weise

---

1) Aber doch wesentlich nur für den Menschen. Der Frosch glotzt nicht den Sirius an, sondern — hascht Fliegen. Das Froschauge in Luft ist kurzsichtig, wie ich durch Versuch gefunden. Es ist ganz unrichtig, für Frösche und Fische Emmetropie — heraus zu integriren! Natürlich giebt es auch fernsichtige Wirbelthiere, wie z. B. die Vögel und viele grössere Säugethiere.

ohne alle Hilfsgläser und werden deshalb richtig gebaute oder emmetropische Augen genannt.[1])

Die Länge des erwachsenen, menschlichen Emmetropenauges ist etwa 23·8 Mm. von der Hornhautoberfläche bis zur lichtempfindlichen Netzhautschicht. Der Knotenpunkt seines Doppelobjectivs liegt bei der Fernpunktseinstellung etwa 16·5 Mm. vor der Netzhaut.[2])

Die Rechnung zeigt, dass der Begriff der Emmetropie nur ein relativer ist. Im Verhältniss zu dem besonderen dioptrischen Bau eines gegebenen ruhenden Auges muss zwischen der vorderen Hauptbrennweite F_1 (dem Brennpunkts-Knotenpunkts-Abstand) einerseits und dem Knotenpunkts-Netzhautabstand andererseits Gleichheit bestehen, wenn das Auge ein emmetropisches sein soll. Es muss die Netzhautmitte in der hinteren Hauptbrennebene des besondern dioptrischen Apparates belegen sein. Man denke an das kleine Auge der Ratte und an das grosse Auge des Pferdes: die Sehachsenlänge des ersteren beträgt 6 Mm., die des letzteren 43 Mm. Beide Augen könnten nahezu emmetropisch sein, wiewohl ja die Säugethieraugen bei der Augenspiegel-Untersuchung meistens etwas übersichtig erscheinen. Aber entsprechend der kurzen Brennweite f_1 des ersteren muss die Netzhaut auch nur um diese kurze Strecke vom Knotenpunkte abstehen; und entsprechend der langen Brennweite F_1 des zweiten muss hier die Netzhaut auch um diese längere Strecke vom Knotenpunkt abstehen.

Die Erfahrung lehrt nun, dass die emmetropischen Augen erwachsener Menschen nahezu gleich lang sind. Wir haben gute Gründe zu der Annahme, dass der dioptrische Apparat des fernsehenden, ausgewachsenen Emmetropenauges nahezu derselbe ist. Messungen der Achsenlänge des Menschenauges haben Krause der Aeltere, E. v. Jäger u. A. angestellt. Jäger fand die Augenachse des Erwachsenen im Mittel aus 80 sehr genauen Messungen = 24·3 Mm. Offenbar waren die meisten der gemessenen Augen emmetropisch gewesen. Zieht man die Dicke der Lederhaut (= 0·9 Mm.) ab, so bleibt für die Sehachse 23·4. Messungen der optischen Constanten des lebenden Menschenauges sind vor Allem von Helmholtz, ferner von Donders, Knapp, Mauthner, Woinow, Reuss u. A. ange-

1) E = Emmetropie von *ἔμ-μετρος*, maassvoll (*μέτρον* Maass), und *ὤψ* Gesicht; e = emmetropisch. Diesem Zustand entgegengesetzt ist die Ametropie, von *ἄ-μετρος*, unrichtig. (Bei den Griechen war *ἔμμετρος* im Gegensatze zu *ἄμετρος* = poëtisch gegen prosaisch.)

2) Dieser Werth ist ein wenig genauer als der abgerundete von 15 Mm. des schematisch-reducirten Auges.

stellt worden. Reuss fand bei der genauen und prüfenden Messung von 6 Emmetropen-Augen Erwachsener den kleinsten Werth der Augenachse = 22·6 Mm., den grössten = 24·7. Das Mittel beträgt 23·65. Dies weicht nur um eine sehr kleine Grösse ab von demjenigen Mittelwerthe (23·8 Mm.), den wir unserer Betrachtung zu Grunde gelegt haben.

Die hintere Hauptbrennweite bei E ist nach Reuss = 20.88 Mm. (Grösster Werth 21·7; kleinster 19·6). Natürlich, starre Uebereinstimmung ist auf organischem Gebiete nicht zu erwarten. Schon der Neugeborenen Augen[1]) sind nicht ganz gleich lang, die Wachsthumsverhältnisse der Menschen sind sehr verschieden, ihre Bedingungen mannigfaltig und kaum zu überschauen. Deshalb ist die annähernde Gleichheit sehr bemerkenswerth. Aber vollständig ist die Gleichheit des dioptrischen Systems keineswegs. Das kann man sofort beurtheilen, wenn man für emmetropische Augen Erwachsener die wichtigste Grösse, den Hornhauthalbmesser r, bestimmt.[2])

Man findet, dass r um etwa 0·5 Mm. grösser oder kleiner sein kann, als der Mittelwerth von 7·7 Mm.

Wenn trotz stärkerer Hornhautkrümmung (kürzerem Krümmungshalbmesser) E besteht; so kann entweder die Crystall-Linse durch verhältnissmässig schwächere Brechkraft (längere Brennweite) eine ausgleichende Wirkung üben; oder es kann das besondere Emmetropenauge um eine kleine Grösse kürzer[3]) sein, als das mittlere. Wenn hingegen trotz flacherer Hornhautkrümmung (längerem Hornhautradius) E besteht; so kann entweder die Crystall-Linse durch verhältnissmässig stärkere Brechkraft (kürzere Brennweite) eine ausgleichende

1) Die Augenachse der Neugeborenen verhält sich zu der der Erwachsenen wie 18:24 = 3:4. (Die Körperachse wie $1:3^1/_2 = 3:10^1/_2$!) Die Augen der Neugeborenen sind verhältnissmässig gross; und bald, in den ersten Lebensjahren, wird das volle Maass gewonnen. Das Auge, unser Welt-Maassstab, ist während des selbständigen (extra-uterinen) Lebens nur geringen Schwankungen unterworfen.

2) Dies kann mittelst des Ophthalmometers oder des Ophthalmomikroskops von Helmholtz am Lebenden mit aller Schärfe ausgeführt werden.

3) Es sei $r = 7{\cdot}2$ Mm. $F_{2c} = 4 \times 7{\cdot}2 = 28{\cdot}8$; $F_{1c} = 3 \times 7{\cdot}2 = 21.6$. Der Convergenzpunkt des parallel auf die Hornhaut fallenden Bündels liegt 28 Mm. hinter der Hornhaut, 22·8 hinter K der Linse, 22·8 + 63 = 85·8 hinter deren vorderem Brennpunkt. $\varphi_1{}' = -85{\cdot}8$; $\varphi_2{}' = \frac{63 \times 63}{-85{\cdot}8} = -46{\cdot}4$. Der definitive Bildpunkt liegt 46·4 vor dem hinteren Brennpunkt der Krystalllinse oder 63—46·4 = 16·6 hinter dem Knotenpunkt der letzteren. Soll der definitive Bildpunkt in die Netzhaut fallen, so muss die Augenachse 6 + 16·6 = 22·6 Mm. lang sein. Bei dem Mittelwerth $r = 7{\cdot}7$ wird $\varphi_1{}' = -87.6$; $\varphi_2{}' = -45{\cdot}3$, Sehachsenlänge 6 + 17·7 23·7.

Wirkung üben; oder es kann das besondere Emmetropenauge um eine kleine Grösse länger sein, als das mittlere.[1])

Im Ganzen hat man aber die Abweichungen der Sehachsenlänge des erwachsenen *E*-Auges nur gering anzunehmen, etwa gleich ± 1 Mm., im Vergleich zum Mittelwerth.

Geschlecht und Alter sind natürlich zu berücksichtigen. Die poetischen Beschreibungen des weiblichen Auges gegenüber dem männlichen sind bei der physikalischen Prüfung nicht stichhaltig gefunden worden.[2]) Das erwachsene, weibliche *E*-Auge ist im Allgemeinen um eine geringe Grösse ($^1/_4$—$^1/_2$ Mm.) kleiner, als das männliche, und dem entsprechend der Krümmungsradius der Hornhaut um ein Geringes kürzer. (Donders fand *r* bei Männern 7·8 im Mittel, bei Weibern 7·7, bei *e* Männern 7·78, bei *e* Weibern 7·72.) Auch bei *e* Kindern von 14—16 Jahren hat man einen kleineren Krümmungsradius der Hornhaut (7—$7^1/_4$ Mm.) gefunden und dem entsprechend eine etwas kürzere Sehachsenlänge zu erwarten.

6. Kurzsichtigkeit.

Wenn ein Auge von dem Normalbau (Emmetropie) abweicht, so wird es als ametropisch bezeichnet. Es giebt nach dem Gesagten zwei Arten von Ametropie, die Kurzsichtigkeit und die Übersichtigkeit.

Kurzsichtigkeit wurde Myopie[3]) genannt, weil die Kurzsichtigen blinzeln, um in die Ferne deutlicher zu sehen, und so durch

---

1) Es sei $r = 8{\cdot}2$, also $F_2c = 4 \times r = 32{\cdot}8$; $\varphi_1 l = -\,[(32{\cdot}8-6) + 63]$ $= -89{\cdot}8$; $\varphi_2 l = \dfrac{63 \times 63}{-89{\cdot}8} = \dfrac{3969}{-89{\cdot}8} = -44{\cdot}2$; $63-44{\cdot}4 = 18{\cdot}6$.

Sehachsenlänge $s = 6 + 18{\cdot}7 = 24{\cdot}6$.

Wenn $r_c = 7{\cdot}2$ ($F_2 l = 63$ Mm.) wird *s* des *e*-Auges = 22·6.
$r_c = 7{\cdot}7$ („ = 63 „) „ „ = 23·7.
$r_c = 8{\cdot}2$ („ = 63 „) „ „ = 24·6.

Eine Abweichung des Hornhautradius $\triangle r = \pm\,^1/_2$ Mm. bedingt eine Abweichung der Sehachsenlänge $\triangle s$ um ± 1 Mm. (Ungefähr.)

2) Sömmering's Ausspruch: „Im Ganzen hat das Aeussere des Auges beim Manne etwas rundes, dickliches, kräftiges; bei Weibern etwas längliches, flaches, zartes, dünnes, sanftes", ist wohl nach dem Zusammenhang mehr auf Lider und Umgebung des Auges zu beziehen. Bei den Naturphilosophen Dr. Löbenstein-Löbl (Semiologie des Auges. Jena 1817, pag. XXXVII) heisst es: „Im Auge des Weibes ist Sanftmuth, Liebreiz und Milde ausgegossen; im Auge des Mannes herrscht Festigkeit, Entschlossenheit, Ernst und Kraft".

3) *Μύωψ*, Blinzel-Auge, von *μύω* ich schliese, und *ὤψ* das Auge. In der dem Aristoteles zugeschriebenen Schrift Problemata heisst es (λα, 16; Ausg. der Berliner Akademie II, 959, 1831): *Διὰ τί οἱ μύωπες συνάγοντες τὰ βλέφαρα ὁρῶσιν;*

theilweisen Verschluss der Lidspalte die Pupille verengern; oder auch Hypometropie[1]), weil ihr Sehbereich kürzer ist, als der der Emmetropen. Der Ausdruck Plesiopie[2]) (Nahesichtigkeit) ist nicht allgemein angenommen worden.

Ein Auge ist kurzsichtig, wenn es zwar in der Nähe feine Gegenstände deutlich sehen, also feinen Druck fliessend lesen kann: aber von fernen Gegenständen scharfe Netzhautbilder nicht zu gewinnen, also zum Beispiel die Schriftproben, die ein emmetropisches Auge noch auf 20′ (= 7 Meter) Entfernung deutlich wahrnimmt, ohne Anwendung von concaven Hilfsgläsern nicht zu entziffern vermag.

Das von einem sehr fernen Punkt ausgehende Strahlenbündel fällt nahezu parallel auf das kurzsichtige Auge und wird durch das

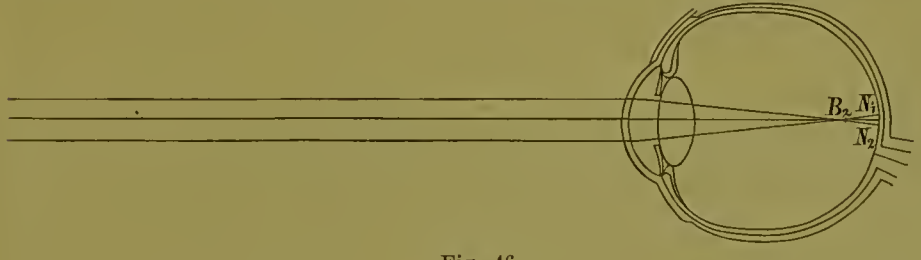

Fig. 46.

ruhende Doppelobjectiv des Auges im hinteren Hauptbrennpunkte des letzteren vereinigt; dieser (B_2) liegt im Falle der Kurzsichtigkeit vor der Netzhaut; auf der Netzhaut des kurzsichtigen Auges entsteht durch das von B_2 wieder auseinander fahrende Strahlenbündel ein Zerstreuungskreis N_1 N_2. Das Bild des fernen Punktes erscheint dem kurzsichtigen Auge verwaschen und unklar. Wird ein kurzsichtiges Auge gegen einen sehr fernen Gegenstand gerichtet, so entsteht von jedem Punkt des letzteren statt eines scharfen punktförmigen Bildes ein Zerstreuungskreis auf der Netzhaut; die Zerstreuungskreise benachbarter Bildpunkte greifen übereinander (s. Fig. 47); das Bild des fernen Gegenstandes wird verwaschen, selbst unerkennbar. Die Mondsichel erscheint als ein grosser, vielspitziger Lichtfleck. Es ist

Fig. 47.

---

und ebendaselbst, 8 (s. 958): *Διὰ τί οἱ μύωπες μικρὰ γράμματα γράφουσιν;* Aristot. *περὶ ζῴων γενέσεως*, E, 1. (I, 780): *ὁ γὰρ αὐτὸς ἐπηλυγισάμενος τὴν χεῖρα ἢ δι' αὐλοῦ βλέπων τὰς μὲν διαφορὰς οὐθὲν μᾶλλον οὐδ' ἧττον κρίνει τῶν χρωμάτων, ὄψεται δὲ ῥοῤῥώτερον.*

1) Von *ὑπὸ*, unter; *μέτρον*, Maas; *ὤψ*, Gesicht.

2) Von *πλησίος*, nahe.

klar, dass der Fehler um so grösser sein muss, je weiter die Netzhaut hinter der hinteren Hauptbrennebene des ruhenden kurzsichtigen Auges zurückweicht.

Im Vergleiche mit dem emmetropischen Auge ist das kurzsichtige scheinbar mit zu starker Brechkraft begabt; ein parallel einfallendes Strahlenbündel wird bei ruhender Accommodation vom emmetropischen Auge in der Netzhaut, vom kurzsichtigen schon vor der Netzhaut zu einem punktförmigen Bilde vereinigt.

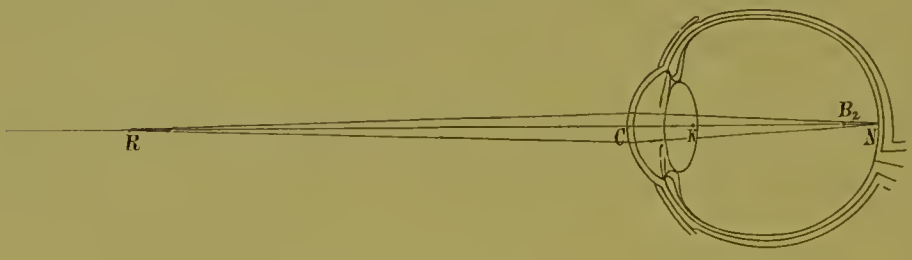

Fig. 48

Geht aber (Fig. 48) von einem bestimmten, in endlicher Entfernung belegenen Punkte (*R*) ein Strahlenbündel aus, welches divergent auf das kurzsichtige Auge fällt: so wird das ruhende Doppelobject des letzteren das divergente Bündel genau in der Netzhaut zu einem scharfen, punktförmigen Bilde vereinigen. *R* ist der fernste Punkt, von dem das kurzsichtige Auge noch ein scharfes Netzhautbild zu gewinnen vermag.

Rechnungsmässig muss Kurzsichtigkeit entstehen, wenn die Netzhaut eines bestimmten Auges hinter der hinteren Hauptbrennebene seines ruhenden Doppelobjectivs belegen ist. Das kurzsichtige Auge ist zu lang gebaut; das verhältnissmässig zu lang gebaute Auge ist kurzsichtig.

Thatsächlich entsteht Kurzsichtigkeit, namentlich höheren Grades, durch absolute Verlängerung der Sehachse; das kurzsichtige Auge ist, verglichen mit dem emmetropischen, unbedingt zu lang gebaut, während das ruhende Doppelobjectiv desselben von dem des emmetropischen Auges nicht erheblich abweicht.

Dieser, der gewöhnliche Fall, wird Achsenmyopie (*Ma*)[1]) ge-

1) Glotzauge, *σκορδόφθαλμος*, schon beim Aëtius (VII, 134). Er kannte Kurzsichtigkeit mit und ohne Achsenverlängerung. Vgl. Aristot. *περὶ ζῴων γενέσεως*, ε, 1. *Τὰ μὲν ἐξόφθαλμα οὐκ εὔωπα πόρρωθεν, τὰ δ' ἐντὸς ἔχοντα τὰ ὄμματα .... ἰρατικὰ τῶν πόρρωθεν.* Das ist doch älter, als die Beobachtung der kurzsichtigen Sehachsenverlängerung durch Scarpa 1801, v. Ammon 1832, Ritterich 1839 und namentlich durch Arlt 1854. Allerdings sind diese neuen Beobachtungen dafür um so wichtiger.

nannt, im Gegensatze zu dem viel seltneren, ja ausnahmsweisen Fall der Krümmungsmyopie (*Mk*), wo die scheinbar zu starke Brechung des kurzsichtigen Auges, bei unveränderter Länge der Sehachse, durch zu starke Krümmung, besonders der Hornhaut,[1]) bewirkt wird.

Natürlich ist auch bei Krümmungsmyopie das kurzsichtige Auge verhältnissmässig zu lang gebaut; denn der stärkeren Krümmung der Hornhaut entspricht eine ungewöhnlich kurze hintere Hautbrennweite, während die Netzhaut im gedachten Falle an der normalen Stelle, also hinter dem hinteren Hauptbrennpunkte des individuellen Auges, belegen ist.

Gemischte Myopie (*Mm*) ist anzunehmen, wenn die scheinbar zu starke Brechkraft des kurzsichtigen Auges theils durch Sehachsenverlängerung, theils durch stärkere Krümmung der brechenden Flächen des Auges bedingt wird. (Ob auch zu starke Lichtbrechung in einzelnen Theilen, namentlich in der Linse, mitwirkt, ist noch genauer zu erforschen.)

Ein einfaches Schema des kurzsichtigen Auges[2]) liefert die Dunkelkammer der Photographen, wenn sie so weit ausgeschraubt ist, dass der lichtauffangende Schirm vom Objectiv aus hinter der hinteren Hauptbrennebene des letzteren liegt; in diesem Zustande liefert sie ein scharfes Bild, nicht vom Horizont einer Landschaft, wohl aber von einem bestimmten nahen Gegenstand, dessen Abstand genau dem Grade der Achsenverlängerung der Dunkelkammer entspricht.

Ein sehr passendes Maass der Kurzsichtigkeit wäre gegeben, wenn wir den Grad der Achsenverlängerung (womöglich in Theilen der normalen Sehachse) anzugeben vermöchten; wenn wir z. B. nach Untersuchung eines lebenden Auges sagen könnten: das betreffende Auge hat ein normales Doppelobjectiv, aber eine um 10%, d. h. um 2·38 Mm., verlängerte Sehachse.

Diese anatomische Messung ist am lebenden Auge nicht bequem durchführbar, wenigstens nicht in der ärztlichen Praxis; wir

---

1) Durch Verletzung wird gelegentlich eine theilweise Zerreissung des Aufhängebandes der Linse bewirkt; die Linse wird dann nicht mehr durch das Aufhängeband im abgeflachten Zustand erhalten, sondern nimmt dauernd eine gewölbte Gestalt an: die Folge ist starke Kurzsichtigkeit des Auges, nebst Aufhebung der Accommodationsfähigkeit. — Eine stärkere Wölbung der Linse kann man auch vermuthen bei der Kurzsichtigkeit durch Zuckerharnruhr; ferner durch beginnenden Alters-Star.

2) Nicht, wie man früher annahm, des für die Nähe accommodirten *e* Auges.

müssen uns mit einer physiologischen Messung der Kurzsichtigkeit begnügen.

Wir messen nämlich den Fernpunktabstand, indem wir z. B. die grösste Entfernung ermitteln, in welcher das kurzsichtige Auge noch ganz feine Druckschrift zu lesen vermag. Das erste Maass der Kurzsichtigkeit ist der Abstand des Fernpunktes vom Knotenpunkt des ruhenden, kurzsichtigen Auges oder die lineare Strecke $\overline{RK} = R$ (Fig. 48).

Thatsächlich können wir allerdings nur von der Hornhaut ab, d. h. die Strecke $\overline{RC}$, messen. Wenn aber der Fernpunktabstand des Auges auch nur $3'' = 81$ Mm. betragen sollte, so käme es doch nicht so wesentlich darauf an, ob wir uns um 1—2 Mm. irren in der Bemessung des Abstandes $d = \overline{CK}$ zwischen Hornhaut und Knotenpunkt des Auges: eines Abstandes, welcher im Mittel etwa 7 Mm. beträgt.

Je nach der Wahl des linearen Maasses, dessen wir uns zur Abmessung der Grösse R bedienen, fällt der ziffermässige Ausdruck für den Grad der Kurzsichtigkeit verschieden aus.

Bis vor Kurzem war allgemein das Zollmaass üblich. Einem kurzsichtigen Auge, dessen Fernpunktsabstand ($\overline{RC}$ oder genauer $\overline{RK}$) $2''$ betrug, wurde eine Kurzsichtigkeit von $2''$ zuertheilt. Ist der Fernpunktabstand $6''$, so besteht M von $6''$. Ist $R = 80''$, so besteht M von $80''$.

Hiermit sind die praktischen Grenzen für die Bestimmung der Kurzsichtigkeit gegeben. Liegt der Fernpunkt noch weiter ab, als $80''$; so verlohnt es sich nicht, den Grad der Kurzsichtigkeit anzugeben, da ein solches Auge für die üblichen Sehprüfungen und für die meisten Beschäftigungen mit einem emmetropischen fast gleichwerthig ist.

Die Netzhaut liegt dann der hinteren Hauptbrennebene des ruhenden Doppelobjectivs unendlich nahe; die Zerstreuungskreise werden unendlich klein und stören nicht länger durch Uebereinandergreifen.

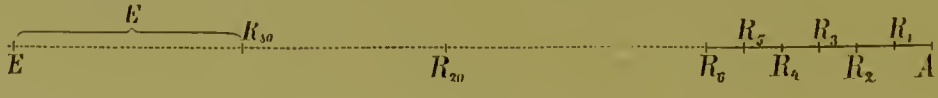

Fig. 49.

Man sieht, dass Emmetropie den Grenzfall der Myopie darstellt, dass Myopie durch allmähliche Verlängerung des Fernpunktabstandes in Emmetropie übergeht. Denken wir uns in A den Ort (Knotenpunkt) des Auges und auf der Graden AE die sämmtlichen Fernpunkte kurzsichtiger Augen mit $R_1\ R_2 \ldots R_6 \ldots R_{50}$ je nach ihrer

Entfernung von A (in Zollmaass), verzeichnet; so können wir diejenige Strecke der Graden, welche jenseits R_{80} liegt, praktisch zur E rechnen, deren eigentlicher Ort auf der Graden in unendlicher Entfernung von A zu denken ist.

Kurzsichtigkeit von 80″ bis 20″ kann man als leichte bezeichnen, die von 20″ bis 6″ als mittlere, die von 6″ bis 2″ und weniger aber als starke. Natürlich ist bei dem ganz allmählichen Übergange des einen Grades in den andern eine scharfe Abgrenzung nicht möglich. Die erwähnte Eintheilung ist eine willkürliche, jedoch durch den Gebrauch geheiligt. Namentlich ist es bei uns, und auch anderswo, gesetzlich festgestellt, dass die starke Kurzsichtigkeit ($R \leqq 6''$) vom Kriegsdienst frei macht.

Da nun das Zollmaass bei uns — zwar nicht ganz im bürgerlichen Leben, wohl aber im bürgerlichen Gesetze — seine Giltigkeit verloren hat und durch das Centimetermaass ersetzt ist; so müssen wir die lineare Strecke R, welche den Grad der Kurzsichtigkeit misst, auch in diesem Maasse ausdrücken.

Ein prenssischer Zoll ist gleich 26 Mm. Für die Praxis erhält man hinreichende Genauigkeit, wenn man auf diesem Gebiete $1'' = 2{\cdot}5$ Cm. setzt. Danach beginnen die schwächsten Grade der praktisch noch erkennbaren Kurzsichtigkeit mit $R = 200$ Cm. ($= 80''$), die mittleren Grade mit $R = 50$ Cm. ($= 20''$), die stärkeren Grade mit $R = 15$ Cm. ($= 6''$).

Von dem ersten (theoretischen) Maass der Kurzsichtigkeit ($R = \overline{RK}$) wollen wir das zweite oder praktische Maass derselben unterscheiden.

Dies wird geliefert durch das ausgleichende Hilfsglas, also durch dasjenige Brillenglas, welches die M ausgleicht oder aufhebt, — dessen Hinzufügung also aus dem m Auge ein e macht.

Besteht in einem Falle M von $10'' = 25$ Cm., so vermag das Auge bei ruhendem Doppelobjectiv (abgeflachter Crystall-Linse) nur von einem in R ($RK = 10''$) liegenden Gegenstand ein scharfes Netzhautbild zu gewinnen. Das von R ausfahrende Strahlenbündel, aber lediglich ein Bündel von diesem Divergenzgrade, wird durch das ruhende Doppelobjectiv des m Auges zu einem punktförmigen Bilde in N, auf der Netzhaut, vereinigt. Soll das von einem sehr weit entfernten Punkte ausfahrende, nahezu parallele (in der Fig. 50 punktirte Strahlenbündel) so divergent auf die Hornhaut des kurzsichtigen Auges fallen, dass es von dem ruhenden Doppelobjectiv desselben zu einem punktförmigen Bilde in seiner Netzhaut vereinigt wird; so muss dieses parallele Bündel durch ein zerstreuendes Glas, welches vor die Hornhaut

geschoben wird, jenen passenden Grad von Divergenz gewinnen. Dasjenige Glas ist das passende, dessen zweiter Haupt-

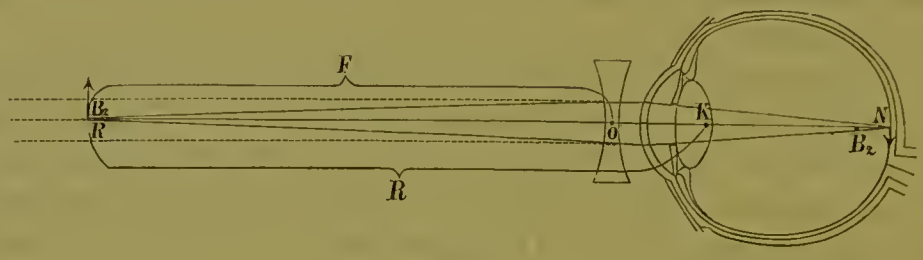

Fig. 50.

brennpunkt (B_2) mit dem Fernpunkt (R) des Auges in denselben Punkt des Raumes zusammenfällt.[1])

Die Brennweite des ausgleichenden Zerstreuungsglases muss also sein $F = OR$, d. h. es muss die Brennweite des Glases nahezu gleich sein dem Fernpunkts-Abstand des Auges.

Will man grösste Genauigkeit anstreben, so ist zu berücksichtigen, dass R von F um die kleine Grösse $OK = d$ sich unterscheidet. ($R—d = F$). Die Brennweite des zu wählenden Glases ist also etwas kürzer, als R, und hängt noch ein wenig von seiner Stellung zum Auge ab. Steht der Knotenpunkt O des Glases $1'' = 2{\cdot}5$ Cm. vor dem des Auges (vor K), so muss das ausgleichende Glas eine Brennweite von $10''—1'' = 9''$ ($= 25—2{\cdot}5$ Cm. $= 22{\cdot}5$ Cm.) besitzen, damit das parallele Strahlenbündel den passenden Grad von Zerstreuung erhalte, d. h. nach der Brechung im Concavglas von dem Fernpunkt des Auges auszugehen scheine. Es muss ja immer $\overline{RO} = F$ sein. Steht das Glas aber, wie bei den gewöhnlichen Brillengestellen selbstverständlich, nur etwa $^1/_2'' = 1{\cdot}25$ Cm. vor dem Knotenpunkt des Auges, so muss die Brennweite des Glases $9^1/_2'' = 23{\cdot}75$ Cm. betragen. Immer muss, wo auch das Glas steht, sein zweiter Hauptbrennpunkt mit dem Fernpunkt des Auges zusammenfallen.

Dieselbe Kurzsichtigkeit kann also durch etwas verschiedene Gläser ausgeglichen werden, durch ein schärferes L_2, wenn es weiter vom Auge abgerückt wird;[2]) durch ein schwächeres L_1, wenn es mehr dem Auge angenähert wird. (Fig. 51.)

Dasselbe Zerstreuungsglas (Fig. 51 b) entfaltet eine etwas verschiedene Ausgleichwirkung, je nachdem es dem Auge angenähert oder von ihm entfernt wird. Wird es dem Auge A

1) Es ist dies für die Ausgleichung der Einstellungsfehler die allgemeine Regel, welche genau ebenso auch für die Übersichtigkeit gilt.

2) So, wenn wir mit dem Augenspiegel (objectiv) die Kurzsichtigkeit messen.

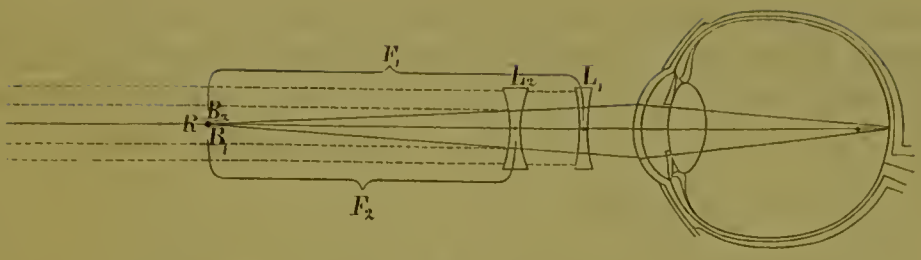

Fig. 51.

angenähert, nach O; so nähert es den Divergenzpunkt D des ursprünglich parallelen Strahlenbündels an und wirkt wie ein schärferes Zerstreuungsglas. Wird es vom Auge A entfernt, nach O_1; so liegt der

Fig. 51b.

Divergenzpunkt D_1 des ursprünglich parallelen Strahlenbündels auch weiter vom Auge ab: das Glas wirkt wie ein schwächeres Zerstreuungsglas, dessen Knotenpunkt in O verblieben wäre.

Viele Menschen tragen unrichtige Zerstreuungsgläser, sei es nach eigener, sei es nach ärztlicher Wahl. Suchen sie immer das Concavglas dem Auge anzunähern, so ist ihr Fernpunkt näher zum Auge, als der zweite Hauptbrennpunkt des Glases: das Glas ist zu schwach. Suchen sie immer das Concavglas möglichst weit vom Auge zu entfernen, so liegt eigentlich ihr Fernpunkt weiter ab, als B_2 des Glases; das Glas ist zu scharf, was den schlimmeren Fehler darstellt.[1])

Aber, wenn wir in der Praxis die Brillengläser in den bekannten Brillengestellen befestigen, so kommt die mögliche Verschiedenheit der Lage bei der Wahl des passenden Glases nur wenig in Betracht. Höchstens ist zu berücksichtigen, dass Brillengläser nicht vollständig fest am Kopf des Menschen befestigt werden, und dass deshalb eine im strengsten Sinne genaue Ausgleichung der Kurzsichtigkeit nicht möglich ist. Zum Glück ist dieselbe für die praktischen Bedürfnisse auch nicht nothwendig, da das Zurückbleiben eines sehr geringen Grades von Kurzsichtigkeit die Fernsicht nicht erheblich beeinträchtigt.

Dasjenige ausgleichende Zerstreuungsglas, welches den Fehler des scheinbar zu stark brechenden Auges aufhebt und ein parallel einfallen-

1) Bezüglich der Verschiebung von Sammelgläsern gilt die umgekehrte Regel.

des Strahlenbündel statt vor der Netzhaut genau in derselben zur Vereinigung bringt, oder vielmehr die Brechkraft dieses ausgleichenden Zerstreuungsglases, ist das praktische Maass der Kurzsichtigkeit.[1]) Das obige Beispiel wäre demnach $M = \frac{1}{9^1/_2}'' = \frac{1}{23{\cdot}75}$ Cm.

Der Unterschied des praktischen Maasses und des theoretischen ist im Allgemeinen gering. Der Vortheil des ersteren liegt in der Auffassung, Schreibweise und Rechnung. Bei schwachen Gläsern ist jener Unterschied vollständig zu vernachlässigen. Eine Kurzsichtigkeit von $\frac{1}{40}''$ und eine von $\frac{1}{39}''$ oder gar von $\frac{1}{39{\cdot}5}''$ sind darum praktisch gleichwerthig, weil der vollständigste Brillenkasten nach 40″ erst wieder das Glas 36″ enthält, und weil der Unterschied zwischen $\frac{1}{40}$ und $\frac{1}{39}$ nur $= \frac{1}{1600}$.[2])

Bei mittleren Graden von Kurzsichtigkeit, z. B. von $\frac{1}{10}''$, ist jener Unterschied schon verhältnissmässig bedeutender, insofern er etwa 5% von dem Betrag der zu messenden Grösse ausmacht. Bei den stärkeren Graden der Kurzsichtigkeit steigt jener Unterschied auf 20% (und darüber) von dem Betrag der zu messenden Grösse[2]) und wäre an sich keineswegs zu vernachlässigen; aber in diesen Fällen verordnen wir auch niemals die vollständig ausgleichenden Gläser, — und auch das theoretische Maass der *M* lässt sich durch die übliche Ermittelung der Entfernung, in welcher feine Schrift noch gelesen wird, kaum auf $^1/_4$ oder $^1/_2$″ genau angeben, wenn man nicht zu umständlichen und unzweckmässigen Verfahrungsweisen seine Zuflucht nehmen will. Man begnügt sich dann, den Fall als übermässige *M* mit einem Fernpunktabstand von etwa 3″ (bezw. 2″, $1^1/_2$″) darzustellen.

Aus dem Gesagten folgt, dass die vorgeschlagene Vereinfachung recht annehmbar ist; man möge die Kurzsichtigkeit messen durch die

---

1) Die Brechkraft des Hilfsglases als Maass der Einstellungsfehler rührt von Donders her, der allerdings die Hilfsgläser in den Knotenpunkt des Auges versetzt.

2) Genauer $\frac{1}{1560}$.

2) $\frac{0{,}5}{10} = \frac{1}{20} = 5\%$. Ferner $\frac{0{,}5}{2} = \frac{1}{4} = 25\%$.

ROYAL LONDON OPHTHALMIC HOSPITAL

Brechkraft des ausgleichenden Glases, welches $^1/_2'' = 1{\cdot}25$ Cm. vor dem Knotenpunkt des kurzsichtigen Auges steht. Man darf aber nicht vergessen, dass damit eben nur ein angenäherter (für die Praxis allerdings ausreichender) Werth der gesuchten Einstellung gewonnen wird.

Nun können wir uns aber auch sofort mit Leichtigkeit auf den neuesten Standpunkt emporschwingen und statt des alten Zollmaasses den modernen Meter oder vielmehr die Brechkraft der Meterlinse, die Dioptrie, als Maass der Kurzsichtigkeit und überhaupt der Einstellungsfehler in Anwendung ziehen.

Ja, die Bezeichnung des Kurzsichtigkeitsgrades durch eine Dioptrienzahl hat überhaupt nur dann einen Sinn, wenn wir von der gegebenen Erklärung des praktischen Maasses der Kurzsichtigkeit ausgehen.

Eine Kurzsichtigkeit, die durch ein Zerstreuungsglas von 4 *D* $\left(= \frac{1}{10}''\right)$ in *E* umgewandelt wird, kann bezeichnet werden als *M* von 4 *D*. Wird ein kurzsichtiges Auge verbessert durch 20 *D* $\left(= \frac{1}{2}''\right)$, so besteht $M = 20\ D$.

Es ist dies wahrlich kein so hervorragender Gedanke, dass es verlohnte, sehr viel Aufhebens davon zu machen. Aber es wäre ungereimt, wenn man — wie das leider häufig genug geschieht — das theoretische Maass der Kurzsichtigkeit in Dioptrien ausdrücken wollte, etwa in folgender Weise;

Ein kurzsichtiges Auge wird verbessert durch ein vorgehaltenes Zerstreuungsglas von 20 *D*. Die Brennweite des ausgleichenden Glases ist $\frac{1000}{20} = 50$ Mm. Aber der Knotenpunkt des Glases steht mindestens 10 Mm. vor dem des Auges, folglich beträgt der Fernpunkts-Knotenpunkts-Abstand *R*, das theoretische Maass der Kurzsichtigkeit, $50 + 10 = 60$ Mm. Ein Glas von 60 Mm. Brennweite hat eine Brechkraft von $\frac{1000}{60} = 16$ Dioptrien. Das theoretische Maass der *M* ist im vorliegenden Fall 16 Dioptrien. Es ist dies, abgesehen von allen Weiterungen, um so weniger gerechtfertigt, als das wirkliche Zerstreuungsglas von 16 Dioptrien, wenn wir es uns in den Knotenpunkt des Auges eingeschoben dächten, hierselbst, umgeben von wässeriger Flüssigkeit, dessen Brechungszahl gleich $\frac{4}{3}$, eine ganz andere, nämlich im Verhältniss von 3 : 1 längere Brennweite besitzen und eine dem entsprechend schwächere Brechkraft entfalten würde.

Es giebt auch noch andere wichtige Fälle, wo man mit dem alten Zoll-, bez. dem Centimeter-Maass, überhaupt mit dem Längen-Maass, besser fährt, als mit dem Dioptrienstyl. Hierher gehört die objective Refractionsmessung mit dem Augenspiegel, sowie stärkere Gläser in Anwendung kommen. (Vergl. den Abschnitt vom Augenspiegel). Hierher gehört die Wahl eines Zerstreuungsglases für mittlere Gegenstands-Entfernungen. Ein Kurzsichtiger habe einen Fernpunktsabstand von etwa 6 Zoll; er will für gewisse Zwecke, z. B. zum Clavierspielen, einen solchen von 12″ erlangen. Welches Glas leistet das Gewünschte? Antwort: $\frac{1}{x} = -\frac{1}{6} + \frac{1}{12} = -\frac{1}{12}$, d. i. ein Glas von 12 Zoll Zerstreuungsweite.

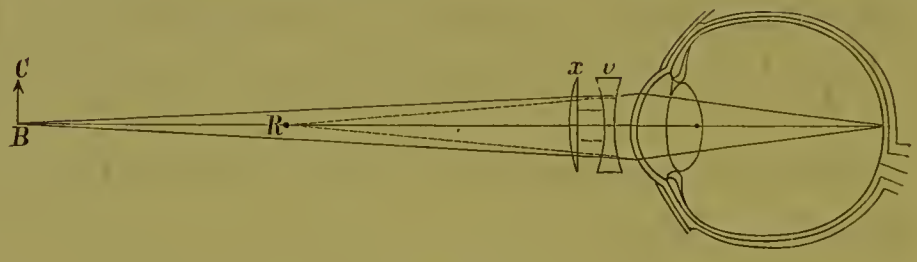

Fig. 52.

Beweis. Wir denken das *m* Auge durch sein Concavglas (*v*) $-\frac{1}{6}''$ corrigirt, wodurch das aus Auge und Zerstreuungsglas zusammengesetzte System für parallel einfallende Strahlenbündel eingerichtet wird. Jetzt wird der Gesichtsgegenstand *B C*, das Notenblatt, in *B*, d. h. 12″ vor dem Auge, aufgestellt. Damit das von einem Punkte *B* des Gegenstandes ausfahrende Strahlenbündel parallel, wie gefordert wird, auf das aus Concavglas und Auge zusammengesetzte System falle, ist es nöthig, unmittelbar vor *v* ein Sammelglas (*x*) von etwa 12 Zoll Brennweite anzubringen. (Die Betrachtung ist genau dieselbe, wie bei der Wahl des Star-Leseglases. S. 102.) Vereinigt man die Wirkung der beiden Gläser *x* und *v* in der üblichen Weise, so folgt $\frac{1}{x} = -\frac{1}{6} + \frac{1}{12} = -\frac{1}{12}$, w. z. b. w.[1])

---

1 Setzt man nunmehr das gefundene Zerstreuungsglas $-\frac{1}{12}''$ vor das Auge,

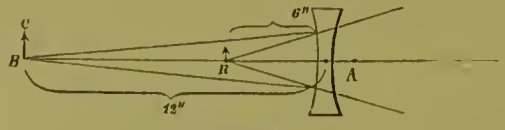

Fig. 53.

Im Dioptrienstyl: Praktisches Maass der *My* 6 *D*; $\frac{1000}{6} = 160$;

wirklicher Fernpunktsabstand 160 Mm.: geforderter 320. $\frac{1000}{320} = 3$;

(ungefähr): $6 - 3 = 3$. Clavierbrille 3 *D*. Wer dies für eine Verbesserung hält, für den hat Euklid umsonst geschrieben!

Da wir einmal bei den Rechnungen verweilen, die bei der Behandlung der Kurzsichtigen dem Arzt erwachsen; so wollen wir noch schliesslich die Frage erörtern, um welche Strecke ungefähr ein *e* Auge verlängert werden müsste, bei unverändertem, ruhendem Doppelobjectiv, damit aus ihm ein *m* von einem bestimmten Grade der *M* hervorgehe. Das schematisch-reducirte Auge ist ein Simplum mit einer vorderen Brennweite von 15 Mm., einer hinteren von 20. Dasselbe ist für parallele Strahlenbündel eingerichtet; und muss entsprechend verlängert werden, wenn es divergente Strahlenbündel auf der Netzhaut zu scharfen, punktförmigen Bildern vereinigen soll (Fig. 54). Steht der Gegenstand AC in der endlichen Entfernung ($AB_1 = \varphi_1$) vor B_1, dem ersten Brennpunkt des reducirten Auges; so entwirft der brechende

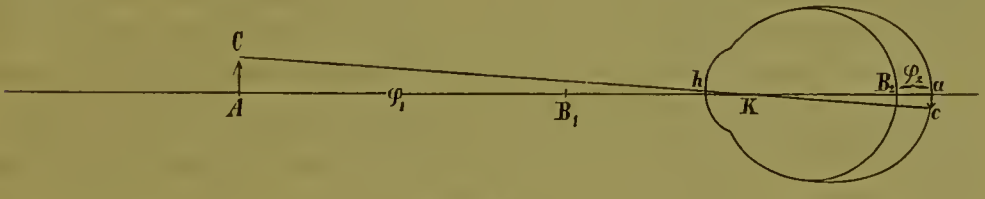

Fig. 54.

Apparat des letzteren ein Bild ac, das um $B_2 a = \varphi_2$ hinter dem hinteren Brennpunkt B_2 des Auges belegen ist. Fällt ac in die Netzhaut, so haben wir ein kurzsichtiges Auge, dessen Sehachse ha um $B_2 a = \varphi_2$ länger ist, als $h B_2$, die Sehachse des emmetropischen reducirten Auges.

---

so gilt folgende Betrachtung. Der in 12 Zoll Entfernung stehende Gegenstand BC sendet von jedem seiner Punkte, z. B. von B, ein divergentes Strahlenbündel aus, welches von dem Zerstreuungsglas stärker divergent gemacht wird, als käme es von R, dem Fernpunkt des Auges A. Will der Betreffende einen Fernpunktabstand von 24″, z. B. zum Violinspielen; so giebt $-\frac{1}{6} + \frac{1}{24} = -\frac{3}{24} = -\frac{1}{8}$. Endlich ist für einen gewünschten Fernpunktabstand von 36″: $-\frac{1}{6} + \frac{1}{36''} = -\frac{5}{36} = -\frac{1}{7}$. Hier ist die Correction fast voll zu nehmen. Das war von vornherein klar, da $\frac{1}{36}$ klein gegen $\frac{1}{6}$.

$\varphi_1 \varphi_2 = F_1 F_2 = 15 \times 20 = 300$. $\varphi_1 = \frac{300}{\varphi_2}$. Setzt man $\varphi_2 = 1$ Mm.; so wird $\varphi_1 = 300$ Mm. Für jede Verlängerung der Sehachse um 1 Mm. erwächst dem betroffenen Auge eine Kurzsichtigkeit von etwa $\frac{1}{13}''$ oder 3 *D*.

Für jede Verlängerung von 0·3 Mm. erwächst dem betroffenen Auge ein Zuwachs der Kurzsichtigkeit von 1 $D = \frac{1}{40}''$. Bei übermässiger *M* von etwa 20 $D = \frac{1}{2}''$ würde die Achsenverlängerung $20 \times 0{\cdot}3 = 7$ Mm. betragen. In der That sind der Art kurzsichtige Augen von $24 + 7 = 31$ Mm. Länge beobachtet worden. Die anatomische Erfahrung stimmt mit der Rechnung genügend überein.

Die gewöhnlichen Fälle der *M*, namentlich der hochgradigen, beruhen auf Sehachsenverlängerung. (Achsenmyopie, *Ma*). Dass Kurzsichtigkeit in der Regel auf stärkerer Krümmung der Hornhaut beruhe, ist eine alte Fabel, welche durch unmittelbare Messung der Hornhautkrümmung am Lebenden mittelst des Ophthalmometers von Helmholtz längst widerlegt ist. Im Gegentheil, der Hornhautradius ist bei *M* eher eine Spur länger als bei *E*, nämlich im Mittel 7·86 statt 7·7 Mm. (Donders), wie auch die Crystall-Linse eher von etwas flacherer Form und etwas längerer Brennweite (F_l bei $M = 68$ Mm., statt 60 Mm. oder 63 bei *E*, v. Reuss), so dass hierdurch ein kleiner Theil der *m* Achsenverlängerung wieder ausgeglichen wird.

Die hintere Hauptbrennweite des fernsehenden Doppelobjectivs vom Auge ist bei *M* im Mittel etwas länger als bei *E* (nämlich 22 Mm., statt 20·8 Mm., v. Reuss), so dass eine mässige Sehachsenverlängerung (von etwa 1 Mm. im Mittel) aufgewogen wird durch schwächere Brechkraft des Doppelobjectivs. Im Ganzen ist aber die hintere Hauptbrennweite nicht so wesentlich abweichend von der bei *E*, und die höheren Grade von *M* sind in der übergrossen Mehrzahl aller Fälle bedingt durch Sehachsenverlängerung. Nichtsdestoweniger giebt es auch Krümmungsmyopien (*Mk*), Krümmungs-Ametropien überhaupt. Ist $r_c = 7{\cdot}2$ (statt 7·7 Mm.), so liegt (s. S. 114) der zweite Hauptbrennpunkt 22·6 Mm. hinter der Hornhaut, also etwa 1 Mm. vor der Netzhaut; falls das Auge die normale Länge besitzt, würde eine *My* von annähernd 3 *D* entstehen.[1])

---

1) $\frac{1}{x} = \frac{1}{F_{1c}} + \frac{1}{F_l} = \frac{1}{21} + \frac{1}{63}$ statt $\frac{1}{23} + \frac{1}{63}$.

Derartige Fälle kommen vor, sind aber doch recht selten.

Ich schliesse mit einer vorläufigen Bemerkung über die Verordnung von Gläsern. (In dem klinischen Theil wird dieser wichtige Gegenstand seine vollständige Erörterung erfahren.)

Bei leichten Graden von Kurzsichtigkeit kann man die vollständig ausgleichenden Gläser tragen lassen; nur müssen ältere Menschen sie beim Nahesehen (Lesen und Schreiben) absetzen. Bei mittleren Graden sind die nahezu ausgleichenden Gläser allein für das Fernsehen zu benutzen. Bei höheren Graden sind zwei verschiedene Gläser zu verordnen, eines zum Fernsehen

---

Nach Nagel entspricht einer Aenderung des Hornhauthalbmessers um $\pm 0{\cdot}1$ Mm. eine Ametropie von $\mp 0{\cdot}5$ *D*. Das stimmt mit unserer Rechnung genügend überein. —

Wer übersichtliche Rechnungen liebt, berücksichtige, dass im mittleren schematischen Auge für die Brechung eines parallelen Bündels an der Hornhaut gilt

1) $F_2 = \frac{n_2 r}{n_2 - n_1} = 4r$. ($F$ Brennweite, r Krümmungshalbmesser).

Einer kleinen Aenderung von r entspricht eine Aenderung von F_2 nach der Beziehung:

2) $d F_2 = 4\, dr$. Denn $F_2 + d F_2 = 4\,(r + dr)$.

Für die Brechung an der Linse gilt

3) $\varphi_1 \varphi_2 = \mathfrak{F}\mathfrak{F}$. ($\varphi_1$ und φ_2 sind die Abstände der zusammengehörigen Bilder von den entsprechenden Brennpunkten der Linse, $\mathfrak{F}$ Brennweite der letzteren.)

Für die Brechung an der Linse wird

4) $d F_2 = d\varphi_1$.

Je weiter das auf die Hornhaut fallende parallele Bündel hinter der ersteren sich vereinigt, desto länger wird die (negative) Strecke zwischen jenem Vereinigungspunkt und dem vorderen Brennpunkt der Linse.

(Der absolute Werth jener Strecke ist ungefähr $60 + 24 = 84$ Mm.) Aus 3 folgt:

5) $\varphi_2 + d\varphi_2 = \frac{\mathfrak{F}\mathfrak{F}}{\varphi_1 + d\varphi_1}$.

$$d\varphi_2 = \frac{\mathfrak{F}\mathfrak{F}}{\varphi_1 + d\varphi_1} - \varphi_2 = \frac{\mathfrak{F}\mathfrak{F}}{\varphi_1 + d\varphi_1} - \frac{\mathfrak{F}\mathfrak{F}}{\varphi_1}.$$

6) $d\varphi_2 = \frac{\mathfrak{F}\mathfrak{F}\,(\varphi_1 - \varphi_1 - d\varphi_1)}{\varphi_1 \varphi_1 + d\varphi_1 \varphi_1} = -\frac{\mathfrak{F}\mathfrak{F}}{\varphi_1 \varphi_1}\, d\varphi_1$, da das letzte Glied im Nenner gegen das erste verschwindet.

I) $d\varphi_2 = -\left(\frac{60 \times 60}{80 \times 80}\right)$. $4\, dr = -2{\cdot}25\, dr$ (in runder Zahl).

$d\varphi_2$ ist der Abstand zwischen der Netzhaut und dem schliesslichen Vereinigungspunkt des parallel auf die Hornhaut fallenden Strahlenbündels, also das Maass der Ametropie. Setzen wir $dr = + 0{,}1$ Mm., so wird

Ia) $d\varphi_2 = -(0{\cdot}1 \times 2{\cdot}25) = -0{\cdot}225$ Mm. Diese Sehachsenverkürzung entspricht einer Uebersichtigkeit von 0·6 Dioptr. Setzen wir $dr = -0{\cdot}1$: so folgt eine Sehachsenverlängerung von 0·225 Mm. oder eine Kurzsichtigkeit von 0·6 Dioptr.

und ein anderes zum Nahesehen: das letztere sei etwa halb so scharf, als das erstere; schärfere Gläser als concav sechs, allenfalls fünf Zoll, sind überhaupt nicht zu gestatten. Menschen, welche dauernd Gläser von —4″, —3″, oder gar —2″ tragen, werden von Beschwerden und schliesslich von Erkrankungen des Augeninnern heimgesucht.

Geschichtliche Bemerkungen über Kurzsichtigkeit.

1) Der alten Griechen richtige Beobachtung und falsche Deutung der Kurzsichtigkeit erfahren wir aus Galen (VII, 98), Oribas., Aëtius, Paullus, Joannes. Als Beispiel erwähne ich Paull. Aeg. *γ′, κβ.* (Basileae, 1538, p. 78.): *Μυωπίαι δὲ λέγονται [οἱ] ἐκ γενετῆς τὰ μὲν ἐγγὺς βλέποντες, τὰ δὲ ἐξ ἀποστάσεως οὐχ ὁρῶντες. ἀνίατος δέ ἐστιν ἡ τοιαύτη διάθεσις ὑπὸ ἀσθενείας γινομένη τοῦ ὀπτικοῦ πνεύματος.*

2) Die falsche Lehre von der Schwäche der Innervation wurde $1^1/_2$ Jahrtausende lang nachgebetet, bis Kepler 1604 (Paralipomena ad Vitellionem) das Richtige fand.

3) Seit Plempius (Ophthalmographia 1630) und besonders seit Boerhave (de morb. ocul. 1750) ist auch den Aerzten die Lichtbrechung kurzsichtiger Augen bekannt geworden.

7. Uebersichtigkeit.

Steht die Netzhaut eines Auges vor dem hinteren Hauptbrennpunkt seines ruhenden Doppelobjectivs, so ist das Auge übersichtig (hypermetropisch).[1])

Ein solches Auge ist scheinbar zu schwach brechend. Parallel einfallende Strahlenbündel kann es, bei erschlaffter Accommo-

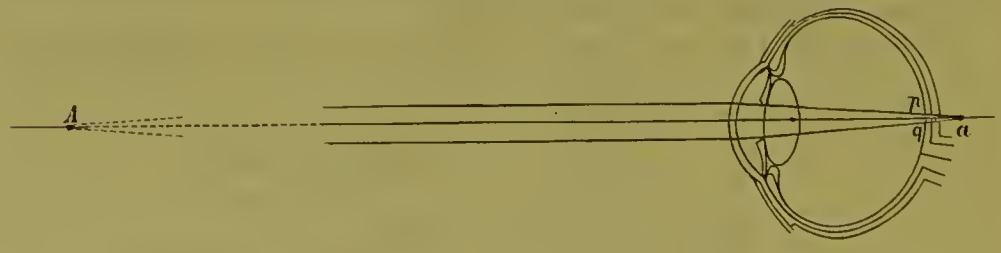

Fig. 55.

dation, nicht auf der Netzhaut, sondern erst hinter der Netzhaut in einem Punkt *a* vereinigen, welcher das Bild des sehr fernen Lichtpunktes *A* darstellt; auf der Netzhaut entsteht statt eines scharfen punktförmigen Bildes der Zerstreuungskreis *pq*.

1) *ὑπὲρ*, jenseits; *μέτρον*, Maass; *ὤψ*, Gesicht. Hypermetropie wird durch *H*, hypermetropisch durch *h* bezeichnet. Der Ausdruck *H* bedeutet, dass das betreffende

Somit ist das System des *h* Auges, bei erschlaffter Accommodation, zu schwach brechend und vermag nur solche homocentrischen [1]) Strahlenbündel zu punktförmigen Bildern in der Netzhaut zu vereinigen, welche schon convergent einfallen. Ein bestimmtes *h* Auge erfordert

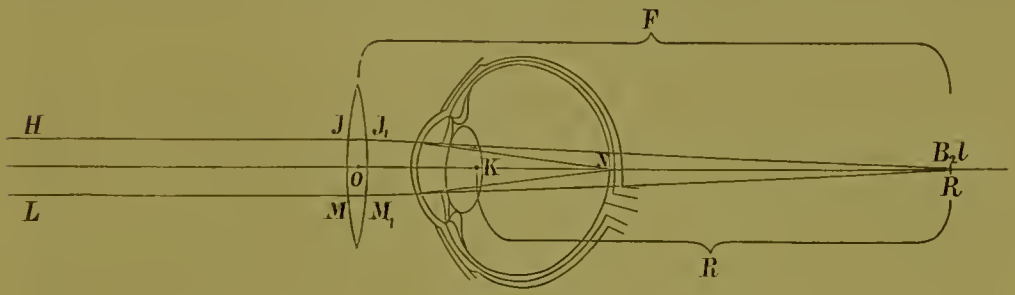

Fig. 56.

bei ruhendem Doppelobjectiv einen bestimmten Grad von Convergenz des einfallenden Strahlenbündels. Der Punkt *R* hinter dem *h* Auge, nach welchem das Strahlenbündel ($J_1 M_1 R$) convergiren muss, um von dem fernsehenden Doppelobjectiv des besonderen *h* Auges auf der Netzhaut vereinigt zu werden, heisst der negative Fernpunkt des *h* Auges. Die Strecke $\overline{RK}$ ($= -R$) misst den Grad der Uebersichtigkeit: der negative [2]) Fernpunktsabstand des *h* Auges ist das erste oder theoretische Maass der *H*.

Beträgt $RK = 6''$ oder 15 Cm., so besteht $H = \frac{1}{6}'' \left(\frac{1}{15} \text{ Cm.}\right)$.

Das praktische Maass der *H* wird wieder durch die Brechkraft des ausgleichenden Glases gegeben. Dies muss ein Sammelglas sein, um den scheinbaren Mangel des *h* Auges auszugleichen, d. h. um dem (von einem sehr fernen Punkt *A* ausgehenden, also nahezu) parallelen Strahlenbündel den passenden Grad von Convergenz zu geben, dessen das *h* Auge benöthigt. Dasjenige Sammelglas ist das passende, dessen zweiter Hauptbrennpunkt B_2 zusammenfällt mit dem negativen Fernpunkt *R* des *h* Auges.

Auge eine transscendentale Fähigkeit besitzt, die ihm im wirklichen Leben nichts nützen kann, nämlich bei ruhendem Doppelobjectiv eingestellt zu sein für convergente Strahlenbündel, die doch in der Natur nicht vorkommen und erst künstlich durch Sammellinsen (oder Spiegel) hergestellt werden müssen. Man kann auch sagen, dass bei dem *h* Auge ein Theil der Accommodationsstrecke negativ, d. h. hinter dem Auge gelegen ist, wo doch wirkliche Sehgegenstände nicht vorhanden sind.

1) Von demselben Punkt ausgehenden.

2) Negativ, weil *R* hinter *K* gelegen; bei *M*, wo *R* vor *K* liegt, war die Strecke positiv gerechnet worden.

Sofort ist einleuchtend, dass das praktische Maass der *H* nahezu (aber nicht vollständig) zusammenfällt mit dem theoretischen. Steht der Knotenpunkt *O* des Convexglases $^1/_2''$ (= 1·25 Cm.) vor dem des Auges (*K*): so ist die Brennweite des ausgleichenden Sammelglases in dem erwähnten Beispiel $6^1/_2'' = 16{\cdot}25$ Cm.: das praktische Maass dieses Grades der *H* ist $\frac{1}{6^1/_2}''$ oder 6 *D*.

Die Hauptbrennweite des ausgleichenden Sammelglases ist etwa um $^1/_2''$ grösser, als die Länge des theoretischen Maasses. (Bei *M* war die Hauptbrennweite des ausgleichenden Zerstreuungsglases etwa um $^1/_2''$ kleiner, als die Länge des theoretischen Maasses derselben.)

Die Lage des Sammelglases zum Auge muss natürlich immer in Betracht gezogen werden. Dasselbe *h* Auge kann durch verschiedene Sammelgläser verbessert werden:

A) Durch ein stärkeres, das näher an den Knotenpunkt des Auges heranrückt; *B*) durch ein schwächeres, das weiter vor dem Knoten-

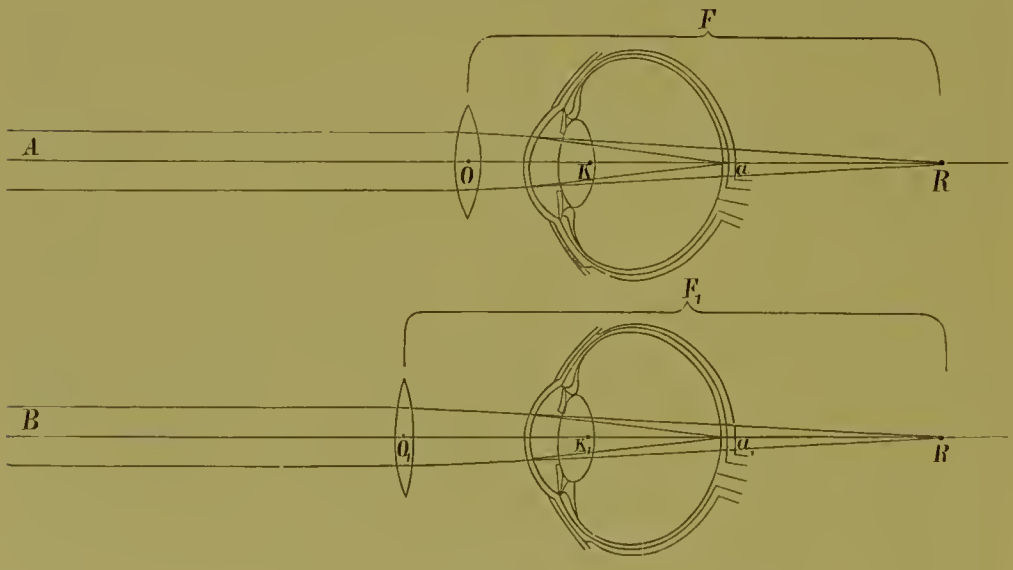

Fig. 57.

punkt des Auges steht. Das durch die Sammellinse convergent gemachte, auf die Hornhaut auffallende Bündel muss ja stets nach dem festen Punkt *R* hin convergiren, um von dem Doppelobjectiv des ruhenden *h* Auges zu einem punktförmigen Bilde in der Netzhaut vereinigt zu werden. Ist $O_1 R > O R$, so muss auch $F_1 > F$ sein.[1])

1) Bei der ophthalmoskopischen Refractionsmessung trifft der Fall *B* zu. Das durch Versuch gefundene Sammelglas hinter dem Augenspiegel hat eine um etwa 1″ (= 2·5 Ctm.) längere Brennweite als dasjenige, welches in dem gewöhnlichen Brillengestell die *H* des Kranken ausgleicht. Bei Kurzsichtigkeit hatte das aus-

Steht dasselbe Sammelglas (dessen Brennweite $O_1 B_1 = F = O_2 B_2$,) vor A, dem Knotenpunkt eines h Auges, in verschiedenen Ent-

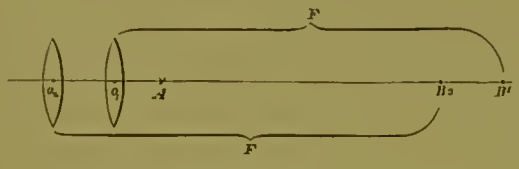

Fig. 58.

fernungen: so entfaltet es eine um so stärkere Ausgleichswirkung, je weiter es vor A steht. Ist ein Mensch bestrebt, sein Sammelglas immer möglichst weit vom Auge abzurücken, so ist die Brille zu schwach. (Wird ein Zerstreuungsglas immer möglichst weit abgerückt, so muss es zu stark sein, wie im vorigen Absatz erörtert ist.)

Uebrigens ist zu erwähnen, dass die gewöhnliche H nur selten stärker wird, als $^1/_4$ bis $^1/_5$″ (10 D, bezw. 8 D); und dass es natürlich nicht lohnt, noch schwächere Grade, als solche von $^1/_{30}$″ (= 0·5 D) zu unterscheiden, da diese allerschwächsten Grade praktisch mit E zusammenfallen. E ist der Grenzfall der H. E entsteht aus H, wenn man allmählich den Grad abschwächt, — wie E auch den Grenzfall der M darstellt.

Wenn man will, kann man die schwache H rechnen von $^1/_{30}$″ (= 0·5 D) bis $^1/_{12}$″ (= 3 D); die mittlere von $^1/_{11}$″ (= 3·5 D) bis $^1/_{6\frac{1}{2}}$″ (= 6 D); die starke von $^1/_6$″ (= 6·5 D) bis $^1/_4$″ (= 10 D) und darüber.

Rechnungmässig entsteht H durch relative Achsenverkürzung, d. h. wenn die Netzhaut (bei erschlaffter Accommodation) vor dem hinteren Hauptbrennpunkte des betreffenden Auges

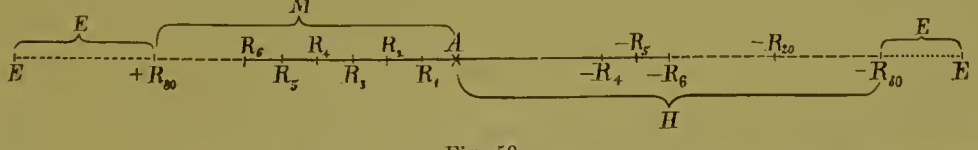

Fig. 59.

A ist der Augenpunkt. Die linke Hälfte der Graden enthält die Fernpunkte der verschiedenen M-Stufen; die rechte die der H-Stufen.

sich befindet. Thatsächlich entsteht H in der Regel durch absolute Achsenverkürzung, im Vergleiche zu dem Falle der E; d. h. das stär-

---

gleichende Zerstreuungsglas hinter dem Augenspiegel eine um etwa 1 Zoll kürzere Brennweite.

ker *h* Auge hat zwar fast dasselbe Doppelobjectiv, wie das *e* Auge; ist aber kürzer, als das letztere.[1])

Für das Verhältniss zwischen dem Grade der Sehachsenverkürzung und dem der Uebersichtigkeit gilt die nämliche Regel wie bei *M*, nur in umgekehrter Form. Ein Zuwachs der Sehachsenverkürzung um etwa $^1/_3$ Mm. entspricht einem Zuwachs der *H* um etwa 1 *D* oder $^1/_{10}''$.

In der allgemeinen Formel $\varphi_1 \varphi_2 = F_1 F_2 = 15 \times 20$ kommen bei gleichen absoluten Werthen von φ_1 die gleichen absoluten Werthe von φ_2 heraus, mag φ_1 das Plus- oder das Minus-Zeichen besitzen; nur dass im letzteren Falle auch φ_2 das Minus-Zeichen erhält. F_1 und F_2 können bei diesen annähernden Rechnungen als unveränderliche Grössen behandelt werden.

Gegeben sei ein reducirtes Auge von der gewöhnlichen Beschaffenheit, dessen Netzhaut aber nicht in B_2 liegt, sondern in *n*, vor B_2.

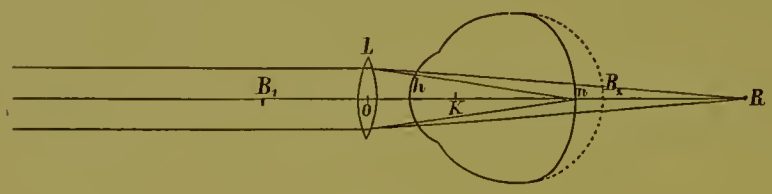

Fig. 60.

Ein parallel einfallendes Strahlenbündel wird durch die Sammellinse *L* convergent gemacht, nach dem Punkt *R* hinter dem Auge.

Dies convergente Strahlenbündel wird von dem scheinbar zu schwach brechenden *h* Auge in dem Punkt *n* der Netzhaut vereinigt. *R* und *n* sind für das achsenkurze *h* Auge zwei conjugirte Bildpunkte.

$\overline{R B_1} = -\varphi_1$, da der virtuelle Gegenstandspunkt hinter B_1 liegt; $n B_2 = -\varphi_2$, da die Netzhaut (*n*) vor dem 2. Brennpunkt B_2 liegt.

$\varphi_1 = \frac{F_1 F_2}{\varphi_2} = \frac{300}{\varphi_2}$. Setzen wir $\varphi_2 = -1$ Mm., so wird $\varphi_1 = \frac{300}{-1} = -300$, d. h. *R* liegt ungefähr 300 Mm. hinter B_1; $300 - B_1 K$ oder 280 Mm. ist das theoretische Maass der *H*, die entstehen würde, wenn die Sehachse des *h* Auges um 1 Mm. kürzer wäre als beim normalsichtigen. Das praktische Maass dieser *H* ist nahezu $^1/_{13}''$ oder 3 *D*, da der Knotenpunkt *O* des corrigirenden Brillenglases nur um

1) Der Hauptsatz der Refractionslehre lautet also folgendermassen: Rechnungsmässig bedeutet relativer Langbau immer Kurzsichtigkeit, relativer Kurzbau hingegen Uebersichtigkeit. Thatsächlich wird Kurzsichtigkeit meist durch absoluten Langbau und Uebersichtigkeit meist durch absoluten Kurzbau bedingt.

wenige Millimeter von B_1 entfernt ist, die Brennweite des corrigirenden Glases aber gleich OR sein muss. Setzen wir in der allgemeinen Formel $\varphi_2 = -0{\cdot}33$ Mm., so folgt $\varphi_1 = \frac{300}{-0{\cdot}33} = -1000$, d. h. durch Sehachsenverkürzung von $^1/_3$ Mm. würde eine *H* von 1 *D* = $^1/_{40}''$ entstehen u. s. f.

Da stärkere Grade von gewöhnlicher *H*, als solche von $^1/_4'' = 10$ *D* kaum (oder nur sehr selten) vorkommen; so beträgt die Sehachsenverkürzung erwachsener *h* Augen kaum mehr, als $10 \times 0{\cdot}3 = 3$ Mm. Solche Augen werden etwa 21 Mm. lang sein (statt 24 bei *E*). Hiermit stimmt die Erfahrung genügend überein.

Es ist klar, dass die scheinbare Verkürzung der Sehachse und damit das Maass der *H* nicht so gross werden kann, als die Sehachsenverlängerung und damit das Maass der *M*.

Das Auge des Neugeborenen ist schon 17—18 Mm. lang. Wie auch das Wachsthum eines Auges zurückbleiben möge, so ist doch, wenn es sich nicht um angeborene Missbildung, oder um frühzeitig erworbene Erkrankung handelt, immer im Laufe des Lebens ein Wachsthum von mindestens einigen Millimetern zu erwarten. Das Längenwachsthum des stark kurzsichtigen Auges hingegen ist zum Theile eine krankhafte Dehnung und wird deshalb eher übermässig, bis 8 Mm. oder $^1/_3$ der normalen Sehachsenlänge.

Es ist eine alte Fabel, welche durch directe Messung am Lebenden mittelst Helmholtz' Ophthalmometer widerlegt ward, dass bei *H*[1]) die Hornhautkrümmung flacher sei, als bei *E*. Ein wesentlicher Unterschied konnte nicht nachgewiesen werden. Donders fand den Hornhauthalbmesser = 7·9 Mm. bei *h* Männern und = 7·8 Mm. bei *e* Männern im mittleren Alter. Reuss fand (was von der Methode abhängen kann,) wohl etwas kleinere Werthe, aber keinen Unterschied in der ersten Decimale zwischen *E* und *H*. Die hintere Hauptbrennweite F_2 ist nach Reuss nahezu dieselbe bei *H* und *E*, nämlich 21 Mm., bez. 20·8 Mm. Somit gilt auch für *H* der Erfahrungssatz, dass sie wesentlich bedingt wird durch Achsenverkürzung (Achsen-Hypermetropie, *Ha*) oder, besser ausgedrückt, durch verringertes Längenwachsthum des Auges.

Natürlich gilt dies auch nicht ganz ohne Ausnahme. Es kommen auch Krümmungshypermetropien (*Hk*) vor, wiewohl selten.[2])

1) Die früher allerdings mit Presbyopie verwechselt wurde.

2) Liegt der Pupille gegenüber eine Hornhautfacette, d. h. eine aus einem geschwürigen Substanzverluste hervorgehende, bleibende Abflachung; so muss starke erworbene *H* die Folge sein, natürlich gepaart mit Sehstörung.

Eine Verlängerung des Hornhauthalbmessers von 7·7 Mm. um 0·5 Mm., also auf 8·2 Mm., würde (bei gleicher Lage und Brennweite der Linse und gleicher Lage der Netzhaut, wie in dem Falle des mittleren, emetropischen Auges) eine Verlängerung der hinteren Hauptbrennweite um fast 1 Mm., bewirken: die Netzhaut läge fast 1 Mm. vor B_2; es entstände *H* von fast 3 *D* ($= \frac{1}{13}''$).

Als gemischte *H* (*Hm*) wäre der Fall zu bezeichnen, wo im Vergleich zur *E* sowohl Achsenverkürzung als auch Hornhautabflachung gefunden wird.

Die Brillenwahl bei Uebersichtigkeit ist noch einfacher, als bei Kurzsichtigkeit. Zum Fernsehen brauchen Sammelgläser, bei *H*, so lange die Sehschärfe gut ist und durch die Gläser nicht wesentlich gebessert wird, nicht getragen zu werden; sie sind anzurathen, sobald sie die Sehkraft erheblich bessern.

(Bezüglich der Sammelgläser zum Nahesehen, besonders zum Lesen, wird das Erforderliche sogleich in der Accommodations-Lehre mitgetheilt werden.)

Ein Fall der erworbenen *H* verdient noch besondere Beachtung, die der Star-Operirten.[1])

Ist ein emmetropisches (schematisches) Auge (mit $r_c = 7{\cdot}7$) linsenlos geworden (star-operirt), so kommt nur noch die Brechung an der Hornhautfläche in Betracht.

$$F_{1c} = 3 \times r_c = 23{\cdot}1$$
$$F_{2c} = 4 \times r_c = 30{\cdot}8.$$

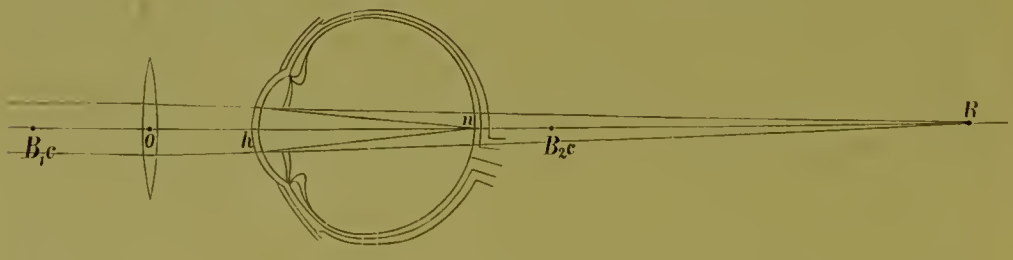

Fig. 61.

Ein paralleles, auf die Hornhaut fallendes Strahlenbündel wird in B_{2c}, d. h. 30·8 Mm. hinter der Hornhaut oder 7 Mm. hinter *n*, vereinigt. ($hn = 23{\cdot}8$).

$$\overline{B_{2c}\, n} = -\varphi_2 = -7 \text{ Mm.}$$

Wir suchen den zu *n* zugeordneten Punkt für das einfache System des linsenlosen Auges:

$$F_1 F_2 = 30{\cdot}8 \times 23 = 708{\cdot}4 \text{ Mm.}$$
$$\varphi_1 = \frac{F_1 F_2}{\varphi_2} = \frac{708{\cdot}4}{-7} = -101.$$
$$\overline{RB_{1c}} = \varphi_1 = -101 \text{ Mm.}$$

1) Gewöhnlich aphakische *H* genannt. (ἀ- und φακός Linse).

Steht das lichtsammelnde Hilfsglas der linsenlosen *H* in B_{1c}, so müsste seine Brennweite etwa 100 Mm. betragen, d. h. etwa $3^2/_3$ Zoll.

Thatsächlich steht das ausgleichende Brillenglas aber nicht in B_{1c}, d. h. 23 Mm. vor der Hornhaut, sondern ungefähr in *O*, etwa 10 Mm. vor der letzteren: $CR = F$ wird 101—13 = 87 Mm. oder $3^1/_4$ Zoll.

Der Fernpunkt des *c* gewesenen, linsenlos gewordenen Auges liegt etwa 100 Mm. hinter B_{1c}. Das Hilfsglas zum Fernsehen ist $\frac{1}{3^1/_4}$ oder $\frac{1}{3^1/_2}''$.

Gewöhnlich giebt man etwas schwache Gläser, etwa $^1/_4'' = 10\ D$.

Ist aber bei empirischer Feststellung das beste Fernglas wesentlich schwächer, so bestand vor der Starbildung *M*; ist das Fernglas wesentlich stärker, so bestand vorher *H*.

Ist das Fernglas $+\ ^1/_6''$, so bestand vorher (ungefähr) $M = \frac{1}{x} = {}^1/_4 - {}^1/_6 = {}^1/_{12}''$ (3 *D*). Ist das Fernglas null (neutral), so bestand vorher $M = {}^1/_4'' = 10\ D$. (Genauer $\frac{1}{3^1/_2} = 11{\cdot}5\ D$). Ist das linsenlose Auge für parallele Strahlenbündel eingerichtet, so muss es ungefähr 30 Mm. lang, d. h. kurzsichtig gebaut sein. (Zerstreuungsgläser zum Fernsehen linsenloser Augen sind s e h r s e l t e n nothwendig!)

Ist das Fernglas $+\ ^1/_3''$, so bestand vorher annähernd $H = {}^1/_3 - {}^1/_4 = {}^1/_{12}''$ (3 *D*). [Man setze dem Star-Operirten sein früheres Fernglas auf und füge hinzu die Ersatzlinse für die entfernte Crystalllinse (= $+\ ^1/_4''$ oder 10 *D*). Die algebraische Summe beider Gläser giebt das Fernglas des Star-Operirten.]

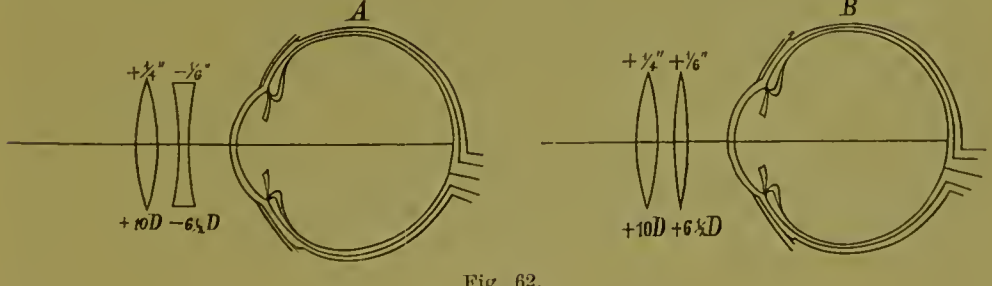

Fig. 62.

Diese bekannte und einfache Rechnung hat ein Dioptrien-Schwärmer (B a d a l, Annal. d'Oc., 80) retrospective Refractionsmessung bei Aphakie genannt und durch folgende Formel — v e r b e s s e r t: $N = \frac{8^{mm}\cdot 4 - 0{\cdot}75\ N_1}{0{\cdot}3}$, wo *N* frühere Refraction, N_1 jetzige empirische Refraction bedeutet, — natürlich Alles in Dioptrien.

Das linsenlose Auge ist accommodationslos. Aber wenn ein Fernglas von $^1/_3''$ um 1" auf der Nase weiter vom Auge abgerückt wird; so wirkt es, wie oben erläutert worden, geradeso wie an der alten Stelle das Glas von 2"; $^1/_2 - {}^1/_3 = {}^1/_6''$.

Der Kranke hat durch Verschieben des Sammelglases gewissermassen eine accommodativo Hilfslinse von $^1/_6$" sich zugelegt und kann jezt bequem lesen. Hatte er $^1/_1$" zum Fernsehen, so beträgt der Werth der accommodativen Hilfslinse $^1/_3 — ^1/_4 = ^1/_{12}$". Hatte er $\frac{1}{3^1/_2}$ nur um $^1/_2$" verschoben, so beträgt der Werth der Hilfslinse $\frac{1}{3} - \frac{1}{3^1/_2} = ^1/_3 - ^2/_7 = ^1/_{21}$ oder etwa 2 *D*, und das Lesen gröbererer Drucke ist möglich. Hiermit vergleiche man die umständliche Rechnung in Aubert's Physiol. Optik, S. 449.

Literatur: Helmholtz, Physiol. Optik. 1856. — Donders, Anomalien der Accommodation und Refraction. 1864. — Mauthner, Optische Fehler des Auges. 1876. — Derselbe, Vorlesungen. I, 1881. — Nagel, Anomalien der Refraction, in Graefe-Sämisch. 1881, VII.

Geschichtliche Bemerkungen über die Uebersichtigkeit.

1. Die Geschichte der Uebersichtigkeit beginnt mit derjenigen der Kurzsichtigkeit d. h. mit Kepler. Doch wurde zunächst die Weitsichtigkeit (Alterssichtigkeit, Presbyopie) mit der Uebersichtigkeit (Hypermetropie) zusammengeworfen.

Schon die alten Griechen waren darin vorausgegangen. Denn die Stelle bei Paullus (Vgl. S. 128) lautet weiter: *ἐναντία δὲ πάσχουσιν οἱ γηρῶντες τοῖς μύωψι· τὰ γὰρ ἐγγὺς μὴ ὁρῶντες τὰ πόρρω βλέπουσι.* Der Satz an sich ist ja nicht falsch, nur ist er nicht umfassend genug.

Es giebt auch junge Leute, die erst durch Sammelgläser deutlich in die Ferne sehen. Dies zeigten Janin 1772, Wells 1811, Ware 1812, am klarsten Weller 1821, und viele Andere. Schon 1755 hatte Kästner den Begriff der „Hyperpresbyopie" erläutert; 1845 wurde der Zustand von Rüte als Uebersichtigkeit beschrieben und 1855 von Stellwag von Carion wissenschaftlich erklärt: aber erst seit den Untersuchungen von Donders 1860 wurde die Lehre Gemeingut der praktischen Aerzte.

Schlussbemerkung.

Diagnose des Brechzustandes.

Die richtigen Gläser sind leicht zu verordnen, wenn man nur erst den Brechzustand des Auges erforscht hat.

Dazu giebt es zwei Verfahren. Das erste ist das objective, mit Hilfe des Augenspiegels. Man bestimmt, ob dasjenige Strahlenbündel, welches von einem mittleren Punkte der mit dem Augenspiegel beleuchteten Netzhaut des fernsehenden Auges zurückkehrt, parallel ist, oder divergent, oder convergent; und für die beiden letzten Fälle, in welchem Grade. Ist das zurückkehrende Strahlenbündel parallel, so war das untersuchte Auge emmetropisch. Ist das zurückkehrende Strahlenbündel divergent, so war das untersuchte Auge für convergente Strahlenbündel eingerichtet, d. h. übersichtig. Ist das zurückkehrende Strahlenbündel convergent, so war das untersuchte Auge für divergente Strahlenbündel eingerichtet, d. h. kurzsichtig.

Maassgebend ist hier das Grundgesetz von der Umkehrbarkeit des Strahlenganges.

Der obere Pfeil zeigt den Strahlengang des eindringenden Lichtes, der untere den des zurückkehrenden. *E* = Emmetropie, *H* = Hyper-

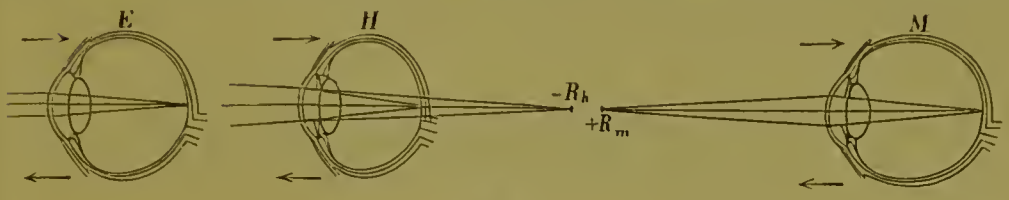

Fig. 63.

metropie, *M* = Myopie.

Wie diese Messung mit Hilfe des Augenspiegels gemacht wird, davon später. An dieser Stelle genügt es hervorzuheben, dass die beste und sicherste Untersuchung der Fernpunktseinstellung durch den Augenspiegel geliefert wird, — natürlich für den, welcher es gelernt hat.

Das zweite Verfahren ist das subjective, die Sehprüfung. Fünfzehn bis zwanzig Fuss (5—7 Meter) von dem Auge entfernt, werden Schrifttafeln angebracht, deren einzelne Zeichen, verschieden gross in den verschiedenen Reihen, von dem gesunden Menschenauge in 20, 50, 100, 200 Fuss (6·5 Mtr., 16 Mtr., 32·5 Mtr., 65 Mtr.) deutlich erkannt werden. Mit solchen Schriftzeichen kann man die Sehschärfe messen.

Das *e* Auge hat seine grösste Sehschärfe ohne Gläser; verliert schon an Sehschärfe durch Vorsetzen von $+ \frac{1}{40}'' = + 1\ D$ und gewinnt nicht durch $- \frac{1}{40}'' = - 1\ D$.

Das kurzsichtige Auge hat ohne Hilfsgläser eine schlechte Fernsicht und gewinnt an Sehschärfe durch Zerstreuungsgläser. Dasjenige Concavglas, mit dem es die grösste Sehschärfe erzielt (und wenn es mehrere sind, das schwächste[1]) unter ihnen,) misst den Grad der Kurzsichtigkeit.

Das übersichtige Auge gewinnt durch Sammelgläser oder verliert wenigstens nicht durch solche. Dasjenige Convexglas, mit dem die beste Fernsicht erzielt wird (und, wenn es mehrere sind, das stärkste[2]) unter ihnen,) misst den Grad der Uebersichtigkeit.

1) Wir besitzen eine positive Accommodation, d. h. wir können durch willkürliche Verdickung unserer Crystall-Linse die Wirkung eines dem Auge vorgesetzten Zerstreuungsglases aufheben. Wird mit zwei merklich verschiedenen Concavgläsern dieselbe Fernsicht angegeben, so war unter dem stärkeren der Unterschied zwischen den beiden Concavgläsern durch Accommodation ausgeglichen.

2) Da unsere willkürliche Accommodation positiv ist; so war unter dem schwächeren Convexglas der Unterschied zwischen beiden Convexgläsern durch Verdickung der Crystall-Linse ausgeglichen.

Optometer[1]) zur subjectiven Messung der Fernpunktslage sind vielfach empfohlen; aber heutzutage so ziemlich zu entbehren, da wir Augenspiegel und Brillenkasten benutzen.

---

1) Schweiten-Messer, von *μέτρον* Maas und *ὀπτός*, sichtbar, oder — gebraten. Ueber die erste Bedeutung witzelten schon die alten Griechen. (*Τὸν ὠμὸν ἰχθὺν ὀπτὸν εἶναι*). Der Name Optometer und das erste Instrument dieser Art stammt von Porterfield (1748).

Fünfter Abschnitt.

Accommodation.

Bisher haben wir die ruhende Fernpunkts-Einstellung[a] erörtert, welche dem Auge durch seinen anatomischen Bau zukommt und bei unthätiger Accommodation, d. h. bei abgeflachter Form der Crystall-Linse, ihm eigen ist.

a) statische Refraction.

Aber das gesunde Auge ist nicht immer für seinen Fernpunkt eingestellt, sondern besitzt auch noch die Fähigkeit, für nähere Punkte sich einrichten, d. h. von denselben scharfe Netzhautbilder zu gewinnen. Ueber die Ursachen dieser Einrichtung oder Accommodation[1]) hat man seit mehreren Jahrhunderten zahlreiche Vermuthungen aufgestellt und schliesslich, in unserem Jahrhundert, auch richtige Anschauungen gewonnen.

Ist das Auge auf einen fernen Punkt scharf eingestellt, so kann es von einem nahen Punkt nicht gleichzeitig ein scharfes Bild entwerfen, ebensowenig wie die unbelebte Dunkelkammer des Photographen. Blickt ein normalsichtiges Auge durch ein 15 Ctm. entferntes, mit Florgewebe bedecktes Planglas auf die etwa 5 Mtr. entfernte Schriftprobentafel, so erscheint das nahe Gewebe ganz verschwommen; sowie es aber die Fäden des Gewebes scharf erkennt, sind die fernen Buchstaben verwaschen.

Eine merkliche Zeit (von ungefähr $1^1/_2$ Secunden) ist erforderlich, um von der Fern- zur Nahepunktseinstellung überzugehen; und etwas weniger (ungefähr 1 Secunde), um vom Nahepunkt zum Fernpunkt zurückzukehren.[2])

1) Kepler, Dioptr., Propos. LXIII. (Opera omnia. Ed. Frisch 1859, II p. 540.) Non est possibile, ut retiformis, retinens eundem situm in oculo, tam a propinquis quam a remotis distincte pingatur.

Pemberton, de facultate oculi qua ad diversas distantias se accommodat. 1719.

2) Vierordt, Arch. f. physiol. Heilk. 1857. N. F. I, 171. — Aeby, Zeitschr. f. rat. Med. 1861. N. F. XI. 300. — Schmidt-Rimpler, Arch. f. O. XXVI, I, 1880.

Gleichzeitig fühlt der Beobachter unmittelbar, dass bei starker Anspannung der Accommodation eine Veränderung in seinem Auge vorgeht. Welcher Art jedoch dieselbe sei, vermögen wir aus unseren eigenen Empfindungen nicht zu erschliessen; dazu brauchen wir objective Untersuchungen an den Augen anderer Menschen.

Die Möglichkeiten sind in den Schriften über Optik von Kepler bis Helmholtz erörtert.

Stärkere Wölbung der Hornhaut, oder der Linse, oder Abrücken der Linse von der Netzhaut, oder der Netzhaut von der Linse würde die geforderte Verstärkung der Lichtbrechung zu leisten im Stande sein. Lange Zeit hindurch war die Meinung vorherrschend, dass das willkürliche zeitweise Nahesehen jedes Auges auf Verlängerung desselben, durch Druck der vier geraden Augenmuskel, beruhe; während ja in der That das dauernde Nahesehen des kurzsichtigen Auges auf Verlängerung der Sehachse zu beziehen ist. Thomas Young hat, am Ende des vorigen Jahrhunderts, diese Annahme gründlich widerlegt, durch Versuche, die ebenso sinnreich wie gefährlich waren: opfermuthig klemmte er sein kurzsichtiges Auge zwischen zwei Eisenringe derartig ein, dass jede Verlängerung desselben unmöglich war; dennoch blieb die Accomodation erhalten. Tauchte er sein Auge unter Wasser, so dass die Hornhautbrechung ausgeschaltet wurde; so blieb trotzdem die Accommodation erhalten. So kam er durch Ausschliessung zu der Ansicht, dass eine Verstärkung der Linsenkrümmung das Wesentliche bei dem Accommodationsvorgang sei und erhärtete seine Ansicht an Star-Operirten; denn er wies nach, dass diese keine Accommodation besitzen.

Den positiven Beweis lieferte Max Langenbeck (1840). Bei der Accommodation für die Nähe wird das von der Vorderfläche der Crystall-Linse gespiegelte Bild einer Lichtflamme verkleinert, also die vordere Linsenfläche stärker gewölbt, so dass sie eine stärkere Brechung des Lichtes entfaltet.

Die Vorderfläche der Crystall-Linse stellt einen kleinen Convexspiegel dar. Die Bilder, welche ein feststehender Convexspiegel von dem nämlichen fernen Gegenstand liefert, fallen um so kleiner aus, je kürzer sein Halbmesser, d. h. je stärker seine Krümmung.

Das sieht man sofort, wenn dieselbe ferne Lichtflamme gespiegelt wird von zwei verschieden grossen, neben einander stehenden Thermometerkugeln, oder auch von der Vorderfläche zweier verschiedener Sammelgläser des Brillenkastens, z. B. + 20 *D.* und + 10 *D.*

Dies begreift man sofort aus der folgenden Betrachtung (Fig. 64).

1) $S_1 S_2$ sei ein gewölbter Kugelspiegel von kleiner Oeffnung, DE ein der

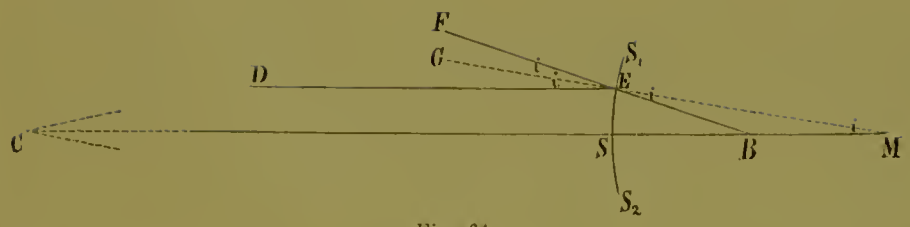

Fig. 64.

Hauptachse SM parallel einfallender Strahl. MEG, der verlängerte Halbmesser der Kugel, ist das Einfallsloth, EF der zurückgeworfene Strahl.

Einfallswinkel gleich Reflexionswinkel. EF schneidet, rückwärts verlängert, die Hauptachse in B.

$\triangle EBM$ ist gleichwinklig, $\angle$ da $BEM = \angle BME = i$. $BE = BM$. So lange die Oeffnung des Spiegels $S_1 S_2$ gegen r sehr klein ist, weicht BE nicht merklich von BS ab. Folglich wird $BS = BM = \frac{r}{2}$.

Alle zwischen S und S_1 einfallenden Strahlen des der Hauptachse parallelen Bündels zielen, nach der Zurückwerfung, auf den Punkt B. B ist der negative Brennpunkt des gewölbten Kugelspiegels, der Vereinigungspunkt des von dem sehr fernen, in der Hauptachse belegenen Lichtpunkts C. —

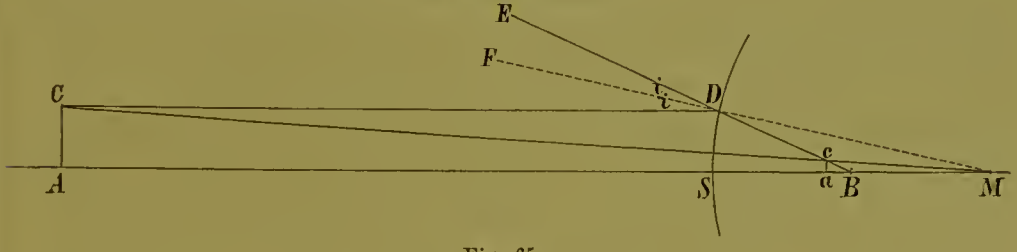

Fig. 65.

2) In Fig. 65 sei C ein Punkt des Gegenstandes AC. Der von C ausfahrende, der Hauptachse parallele Strahl geht nach der Zurückwerfung, rückwärts verlängert, durch B. Der von C ausfahrende Strahl CM, der lothrecht einfällt, wird nicht abgelenkt. Beide schneiden sich in c; c ist der Bildpunkt von C; ca das Bild von CA.

$$\frac{ca}{CA} = \frac{aM}{AM}$$

Das Bild b verhält sich zum Gegenstand G wie die Bild-Entfernung e (vom Krümmungsmittelpunkt) zur Gegenstands-Entfernung E.

$$\frac{b}{G} = \frac{e}{E} \text{ oder}$$

$$b = \frac{G}{E} \cdot e.$$

Ist AM $(= E)$ sehr gross gegen r; so wird $e = \frac{r}{2}$. [Nach 1).]

$$b = \frac{G}{2E} \cdot r.$$

$\frac{G}{2E}$ ist für unsern Versuch eine Constante.

b wird proportional zu r.

Cramer verfolgte den Gedanken Langenbeck's mit Hilfe vergrössernder Lupen und Mikroskope.

v. Helmholtz endlich hat die accommodative Wölbung (Verdickung) der Crystalllinse mit seinem Ophthalmometer endgiltig festgestellt.[1]) Die objectiven Veränderungen, welche man bei Accommodationsänderungen am Auge eines Anderen beobachten kann, sind die folgenden: 1) Die Pupille verengt sich bei der Accommodation für die Nähe, erweitert sich bei der für die Ferne. 2) Der Pupillarrand der Iris und der Pupillentheil der vorderen Linsenfläche verschieben sich etwas nach vorn bei der Accommodation für die Nähe.[2]) 3) Die Vorderfläche der Crystall-Linse wird gewölbter beim Nahesehen, flacher beim Fernsehen. 4) Auch die Hinterfläche der Crystalllinse wölbt sich stärker beim Nahesehen, jedoch in geringem Grade.[3]) Die Crystall-Linse wird also beim Nahesehen dicker,[4]) während die hintere Fläche ihren Ort nicht verlässt, und natürlich die Durchmesser ihrer Aequatorialebene sich verkürzen. Durch die stärkere Wölbung der Oberflächen der Linse wird ihre Brennweite verkürzt,[5]) während ihre Hauptpunkte sich gleichzeitig nach vorn verschieben. Beide Umstände tragen dazu bei, das von der Hornhaut convergent gemachte Strahlenbündel eines leuchtenden Punktes eher zur Vereinigung zu bringen, als dies in dem fernsehenden Auge geschieht. Die Grösse der an der Linse beobachteten Veränderungen scheint auch auszureichen, um die Breite der Accommodation des lebenden Auges zu erklären. 5) Der peripherische Rand der Iris weicht beim Nahesehen nach hinten.

Aus diesen Thatsachen hat Hr. v. Helmholtz die folgende Ansicht über den Mechanismus der Accommodation hergeleitet. Die von der Kapsel umgebene Crystall-Linse ist eine elastische Masse und wird, im Ruhezustand des Strahlenkörper-Muskels,[a]) durch den Zug des an ihrem Rande sich anheftenden Aufhängebandes[b]) in radialer Richtung etwas gedehnt und daher in axialer Richtung, d. h. von vorn nach hinten, etwas zusammengepresst. Der äussere Rand des Aufhängebandes ist ziemlich fest mit den Ciliarfirsten und dadurch mit der Aderhaut verbunden, so dass Linse, Aufhängeband und Aderhaut eine vollständig geschlossene, vom Glaskörper prall gefüllte Kapsel bilden. Der Flüssigkeitsdruck im Glaskörper unterhält die Spannung jener

a) Musculus ciliaris.
b) Zonula.

---

1) Monatsber. d. berl. Akad. 1853. 137. A. f. O. I, 2, 1—74. Physiol. Opt., I. Aufl. S. 103, fgd.; II. Aufl. S. 131 fgd.

2) Etwa um 0,5 Mm.

3) Der Krümmungshalbmesser der vorderen Linsenfläche verkleinerte sich in einem Beispiel von 10 auf 6 Mm., der der hinteren von 6 auf $5^1/_2$.

4) Etwa auf 4 Mm., aus $3^1/_2$ Mm.

5) Etwa auf 40 Mm, aus 50.

Unterschied $^1/_{200}$ Mm., das entspricht einem Glas von + 5 Dioptr.

Kapsel. Die in Richtung der Meridiane verlaufenden Radialfasern des Ciliarmuskels, welche vorn am Schlemm'schen Canal anfangen und hinten am hinteren Ende der Ciliarfortsätze im Gewebe der Aderhaut endigen, müssen bei ihrer Zusammenziehung das dort mit der Aderhaut fest verbundene hintere Ende der Zonula nach vorn ziehen und dadurch die Spannung der letzteren aufheben, so dass die Linse sich stärker wölbt. Gleichzeitig wird der peripherische Ansatz der Iris nach hinten gepresst und Platz gewonnen für die wässerige Feuchtigkeit, welche durch die Wölbung der Crystall-Linse an Raum verliert.

Sowie die thätige Anspannung des Strahlenmuskels nachlässt, treten die Zonula-Fasern wieder zurück und umschnüren von Neuem die Crystall-Linse wie mit einer häutigen Schlinge und geben ihr wieder die flachere Form.

Die Einstellung für die Nähe ist activ, durch Muskelzusammenziehung; die Einstellung für die Ferne ist passiv, durch Elasticität.

Die accommodative Verschiebung der Aderhaut nach vorn ist von Hensen und Völkers[1]) durch den Versuch nachgewiesen worden.

Der Accommodationsnerv gehört dem dritten Hirnnerven[a]) an. Durch Versuche an Hunden haben die genannten Forscher das Folgende bewiesen[2]):

a) Oculomotorius.

1) Der Oculomotorius enthält die Nervenfasern für die Accommodationsthätigkeit und für die Verengerung der Pupille; diese Fasern verlaufen in den vordersten Strängen seiner Wurzeln.

2) Der hinterste Theil des Bodens der dritten Hirnkammer[b]) und der Boden der Silvius'schen Wasserleitung[c]) enthalten die Kerne oder Centren für die erwähnten Muskelbewegungen und zwar ergiebt die Reizung der aufeinander folgenden Theile der erwähnten Gegend nach einander die folgenden Bewegungen:

b) Ventrikel.

c) Aquaeductus Silvii.

a) Accommodation für die Nähe, b) Pupillenverengerung, c) Zusammenziehung des inneren graden Augenmuskels,[α]) d) des oberen,[β]) e) des Lidhebers,[γ]) f) des unteren graden,[δ]) g) des unteren schiefen.[ε])

α) Rectus internus.
β) Rect. superior.
γ) Levat. palp. sup.
δ) Rect. inferior.
ε) Obliq. inferior.

Bei vollständiger Lähmung des ganzen Oculomotorius ist einerseits die Pupille erweitert,[3]) andrerseits die Accommodation gelähmt.

1) Accommodation, Kiel 1868. Arch. f. O. XIX, I, 151.

2) A. f. Ophth. XXIV, 1878.

3) Auf 6 bis 7 Mm. Durch Atropineinträufelung wird die gelähmte Pupille noch weiter (8 Mm. und darüber). — In einigen Fällen ist gleichzeitig Pupille und Accommodation gelähmt,[a]) in anderen Fällen nur die Accommodation,[b]) in noch anderen Fällen nur die Pupille.[c])

a) Ophthalmoplegia.
b) nach Halsdiphtherie.
c) Bei beginnender allgemeiner Paralyse.

Der Oculomotoriusnerv giebt bekanntlich die kurze Wurzel zum Blendungsknoten[a] ab. Die lange Wurzel stammt vom Trigeminus, dem sich sympathische Fasern beimischen. Reizung des Knotens bewirkt Accommodation für die Nähe und Pupillenverengerung. Die Ciliarnerven, welche aus dem Knoten hervor- und zum Auge treten, sind gemischt, da sie Fasern vom 3., vom 5. Hirnnerv und vom sympathischen Nerven enthalten.

a) Ganglion ciliare.

Die Accommodation für die Nähe erfolgt willkürlich durch unseren Willensantrieb, bei der Betrachtung, ja sogar bei der Vorstellung eines nahen Gegenstandes, und zwar immer gleichzeitig auf beiden Augen, unter Verengerung der Pupillen. Dabei besteht der Ciliarmuskel des Menschen aus glatten Fasern.[1])

Die Einträuflung[2]) der Lösung gewisser Alkaloïd-Salze,[a] des Atropin, Hyoscyamin, Hyoscin, bewirkt örtlich einerseits Erweiterung der Pupille, andrerseits Lähmung der Accommodation, d. h. zwangsweise Einstellung des Auges auf seinen Fernpunkt. Die Einträuflung der Lösung andrer Alkaloïdsalze,[b] des Physostigmin und des Pilocarpin, bewirkt einerseits Verengerung der Pupille, andrerseits Krampf der Accommodation, d. h. zwangsweise Einstellung des Auges auf seinen Nahepunkt.

a) Mydriatica.

b) Miotica.

Nach diesen physiologischen Vorbemerkungen ist die nächste praktische Frage die nach dem Maass der Accommodation.

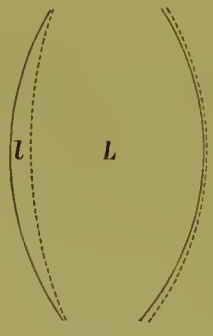

Fig. 66.

Um eine einheitliche Auffassung der Lichtbewegung im Auge zu gewinnen, müssen wir das Maass der Accommodation dem der Refraction entsprechend gestalten. Das Maass der Accommodation wird gegeben durch die Brechkraft derjenigen Glaslinse, welche dasselbe leistet, wie die willkürliche accommodative Verdickung der Crystall-Linse des Auges. (Young, Donders.)

In Fig. 66 ist übersichtlich[3]), in fünffacher Vergrösserung, die flache Gestalt der Crystall-Linse *L* punktirt, die gewölbte ausgezogen. Das Wesentliche der Veränderung besteht darin, dass der Meniscus *l* sich zu *L* hinzufügt.

---

1) Im Gegensatz dazu steht das Herz, welches aus quer gestreiften Muskelfasern zusammengesetzt ist und unwillkürlich sich zusammenzieht.

2) Auch die innerliche Verabreichung oder Einspritzung unter die Haut bei genügend grosser Gabe. Pupillen-Erweiterung ist Zeichen der Atropin-, Verengerung der Morphium-Vergiftung.

3) Die Fig. 70 in Helmholtz, Phys. Opt. (II. Aufl.), welche in so viele Bücher übergegangen ist, giebt das doppelte der wirklichen Linsenverdickung.

Allerdings vermögen wir die Brechkraft, bezw. die Hauptbrennweite von l nicht unmittelbar am lebenden Auge zu messen, wenigstens nicht ohne schwierige und zeitraubende Untersuchung.[1]) Aber wir können leicht diejenige Glaslinse ermitteln, welche, dem Auge dicht vorgesetzt, dieselbe Wirkung entfaltet, wie wenn innerhalb des Auges der abgeflachten Crystall-Linse bei ihrer Wölbung gewissermassen ein Meniscus aufgesetzt wird.

Fig. 67 zeige ein nahezu emmetropisches Auge, welches also im Ruhezustand seiner Accommodation für nahezu parallele Strahlenbündel

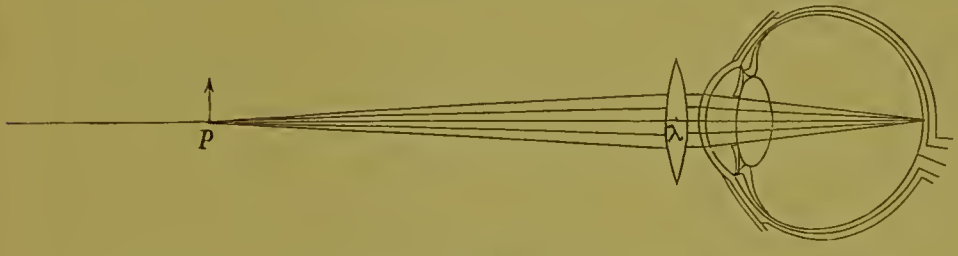

Fig. 67.

eingerichtet ist und welches durch Anspannung seiner Accommodation noch bis etwa 4 Zoll = 10 Ctm. sehr feine Druckschrift zu lesen vermag. Jetzt lähmen wir die Accommodation vollständig durch Atropineinträufluug und nehmen an, dass hierdurch die Fernpunktseinstellung nicht wesentlich geändert werde:[2]) das Auge ist jetzt zwangsweise für parallele Strahlenbündel eingestellt. Soll dieses Auge fortfahren, in 4 Zoll = 10 Ctm. Entfernung feine Schrift zu lesen, so muss ihm eine lichtsammelnde Hilfslinse λ vorgesetzt werden, welche das von P ausfahrende divergirende Strahlenbündel in ein paralleles umwandelt.

Die Brennweite dieser gläsernen Hilfslinse ist gleich $P\lambda$, also nahezu gleich 4 Zoll oder 10 Ctm.; ihre Brechkraft ist gleich $^1/_4$ Zoll oder 10 D. Diese Brechkraft der Hilfslinse ist das Maass der Accommodation in dem vorliegenden Beispiel. (Fig. 67.)[3])

1) Rechung. Für den Meniscus l gilt

$$F = \frac{n_1\, n_2\, r_1\, r_2}{(n_2 - n_1)\,[n_2\,(r_2 - r_1) + D\,(n_2 - n_1)]}$$

$$= \frac{1.33 \times 1.44 \times 6 \times 10}{0.1\,[1.4 \times 4 + 0.5 \times 0.1]} = 208 \text{ Mm.}$$

in runder Zahl.

2) Wir werden gut thun, zu dem wirklichen Versuch ein leicht kurzsichtiges Auge zu wählen. Wenigstens sind die scheinbar emmetropischen Augen jugendlicher Menschen, denen eine genügende Accommodationsbreite zukommt, nach der Atropinisirung meistens übersichtig geworden.

3) Der Bequemlichkeit halber ist der Gegenstand nicht 4″, sondern 2″ = 5 Ctm. entfernt von der Linse λ gezeichnet.

Um die allgemeine Gleichung für das Maass der Accommodation $\left(\frac{1}{A}\right)$ zu finden, gehen wir aus von dem anschaulichen Fall eines kurzsichtigen [1]) Auges. Sein Fernpunkt sei R, sein Nahepunkt P, die Einstellungs-Strecke ist $\overline{RP}$.

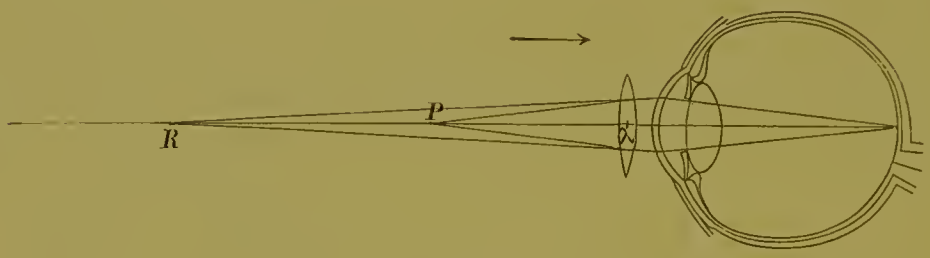

Fig. 68.

Fragen wir nach der Brechkraft derjenigen Glaslinse λ, welche das von dem Nahepunkt P ausfahrende Strahlenbündel so weit sammelt, dass es um soviel weniger divergent auf das Auge fällt, als ob es von dem Fernpunkt R ausginge; fragen wir also nach der Brechkraft derjenigen Glaslinse, welche dem atropinisirten Auge die Accommodation von R nach P ersetzen würde: so ist es genau dieselbe Sammellinse, welche, als Lupe wirkend, den Nahepunkt P nach dem Fernpunkt R versetzt, für welche also P und R ein Paar zusammengeordneter Bildpunkte darstellen. Wenn wir nunmehr die Entfernung λP mit P, λR mit R und die Brennweite der gesuchten Linse mit A bezeichnen; so gilt $\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}$.

(Der Bildpunkt R liegt in diesem Fall vor der Sammellinse: auf derselben Seite, wie der Gegenstandspunkt P; folglich erhält die Bildentfernung das negative Vorzeichen.) [2])

Die gefundene Gleichung ist allgemeingiltig, da wir über die thatsächliche Grösse der Strecken P und R keinerlei besondere Annahme gemacht haben. Sie gilt für jeden Fall von Kurzsichtigkeit. Sie gilt ferner auch für Emmetropie. Emmetropie ist als Grenzfall der Kurzsichtigkeit zu betrachten; setzen wir R sehr gross gegen die Länge des Auges, so geht M in E über. Dann wird aber

---

1) Den „unendlich fernen" Fernpunkt des emmetropischen Auges können wir in der Zeichnung nicht darstellen.

2) $\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2}$. Vgl. Gl. III, S. 90.

$\frac{1}{R} = \frac{1}{\infty}$ = null, d. h. in unserer Gleichung verschwindet das Endglied; es bleibt $\frac{1}{A} = \frac{1}{P}$.

Für E ist also das Maass der Accommodation unmittelbar gleich der Brechkraft derjenigen Linse, deren Hauptbrennweite gleich dem Nahepunktsabstand des Auges. Diesen Fall hatten wir bereits vorher abgehandelt (S. 145). Für M gilt hingegen $\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}$. Der Kurzsichtige braucht weniger Accommodation, als der Emmetropische mit demselben Nahepunkt.

Endlich gilt die gefundene Gleichung auch für den Fall der Uebersichtigkeit; nur muss hier natürlich die Strecke R negativ gesetzt werden, da der Fernpunkt des Uebersichtigen hinter seinem Auge belegen ist.

$$\text{Aus } \frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \left(\frac{1}{-R}\right) \text{ erhalten wir}$$

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} + \frac{1}{R}.$$

Der atropinisirte Hypermetrop braucht zwei Hilfslinsen zum Ersatz seiner Accommodation: die eine von der Brechkraft $\frac{1}{R}$, um den scheinbaren Mangel seines Auges für das Fernsehen auszugleichen, bezw. sein Auge e zu machen; die zweite, von der Brechkraft $\frac{1}{P}$, um dieses nunmehr e Auge für den Nahepunkt P einzustellen.

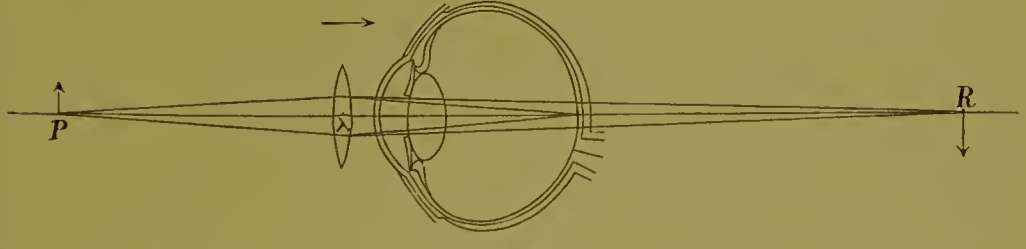

Fig. 69.

Man sieht auch sofort, dass wirklich für das übersichtige Auge die Gleichung so lauten muss, nämlich $\frac{1}{A} = \frac{1}{P} + \frac{1}{R}$. Der Fernpunkt R des h Anges liegt hinter demselben. Wir nehmen einen wirklichen[a] Nahepunkt P vor dem Auge an. Soll die Hilfslinse λ die Accommodation des h Auges A ersetzen, d. h. das von P aus-

a) reellen.

fahrende Strahlenbündel derart sammeln, dass es nach R convergirt, — dass es also durch die Wirkung der lichtbrechenden Mittel des atropinisirten h Auges schliesslich zur punktförmigen Vereinigung auf der Netzhaut gebracht werde: so müssen P und R zwei in Beziehung auf die Hilfslinse λ zu einander gehörige Bildpunkte darstellen, von denen der eine, der Gegenstandspunkt P, vor der Linse; der andre, der Bildpunkt R, hinter der letzteren belegen ist. Es gilt also die gewöhnliche Linsengleichung $\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$, oder in unserer besonderen Schreibweise $\frac{1}{A} = \frac{1}{P} + \frac{1}{R}$.

Nachdem wir so ein einfaches Maass für die Accommodation gewonnen, können wir daran gehen, die menschlichen Augen auf ihre Accommodationsbreite $\left(\frac{1}{A}\right)$ zu untersuchen.

In älteren Büchern, schon in Kepler's Dioptrik, findet man die Angabe, dass Gelehrte gut für die Nähe, Jäger und Hirten besser für die Ferne sich einstellen. Dies ist eine Fabel. Die Accommodationsbreite hängt, bei Gesundheit der Augen und des Körpers, nicht vom Beruf und Gewöhnung ab, auch nicht einmal von der Fernpunktslage: sondern lediglich vom Lebensalter.

Die Accommodationsbreite ist eine Function des Lebensalters. Sie sinkt vom 6. oder 10. Lebensjahr, wo sie zuerst ganz genau geprüft werden kann (und grösser, als $\frac{1}{3}''$ oder 13 D gefunden wird,) ganz regelmässig bis zum 75. Lebensjahre, wo sie null geworden. Es giebt nur wenige Zustände des menschlichen Körpers, welche so genau mit dem Lebensalter zusammenhängen, wie gerade die Accommodationsbreite.

Wodurch ist die mit den Jahren regelmässig zunehmende Verringerung der Accommodationsbreite eigentlich bedingt? Etwa durch zunehmende Schwäche des Accommodationsmuskels? Für diese Annahme fehlt jede erfahrungsmässige Grundlage und jede Analogie. Der Ciliarmuskel schrumpft nicht im Jünglings- und Mannes-Alter. Kein andrer Muskel des Menschen ist im 20ten Jahr schwächer als im 10ten; und im 30ten wieder schwächer, als im 20ten. Wir können die accommodative Thätigkeit mit dem Emporhebeln einer Last vergleichen. Die nämliche Muskelkraft vermag eine um so grössere Last zu heben, je günstiger der Hebel gebaut ist.

Der Accommodationsmuskel mag bis gegen den Anfang des Greisenalters kräftig bleiben. Aber das passive Werkzeug, worauf er wirkt, die Crystall-Linse, wird immer ungünstiger, nämlich härter; so dass sie dem Zuge der Elasticität nicht mehr so folgen kann, wie früher.

Die allmähliche Verhärtung der aus Deckzellen[a] abstammenden Linsenfasern beginnt aber schon in der Jugend und nimmt mit den Jahren ganz regelmässig zu: genau so wie die weiche, zarte Oberhaut des Kindes ganz allmählich, aber sicher, in die sprödere der Greise sich umwandelt.

a) Epidermi

Hieraus wird die Tafel der Accommodationsbreiten verständlich, welche Donders nach seinen klassischen Messungen aufgestellt hat, und die durch die tägliche Erfahrung bei der Brillenwahl ihre Bestätigung findet.

Lebensalter (Jahre)	Accommodationsbreite		Nahepunkt bei Emmetropie	
	Zollmaass	Dioptrien	Zoll	Centimeter
10	$\frac{1}{2\frac{3}{4}}$	14.5	$2^3/_4$	7
15	$\frac{1}{3}$	13	3	7.5
20	$\frac{1}{4}$	10	4	10
30	$\frac{1}{5\frac{1}{2}}$	7	$5^1/_2$	13.75
40	$\frac{1}{9}$	4.5	9	22.5
50	$\frac{1}{16}$	2.5	16	40
60	$\frac{1}{40}$	1	40	100
70	$\frac{1}{160}$	0.25	160	400
75	0	0	∞	∞

Wie ermittelt man in der Praxis den Nahepunkt, und damit die Accommodationsbreite, wenn der Fernpunkt schon vorher gefunden worden?

Alle Optometer sind zu verwerfen, sowohl für die Fern- wie auch für die Nahepunktsbestimmung.

Am einfachsten und sichersten ist es, die kleinste Entfernung zu ermitteln, in welcher noch feinste Schrift gelesen wird. Bei Kurzsichtigen und bei nicht zu alten Emmetropen ist dies unmittelbar auszuführen. Bei erheblicher Verringerung der Accommodationsbreite und bei stärkerer Übersichtigkeit sind

Sammelgläser zu Hilfe zu nehmen, aus deren Stärke die Lage des Nahepunkts leicht berechnet werden kann.

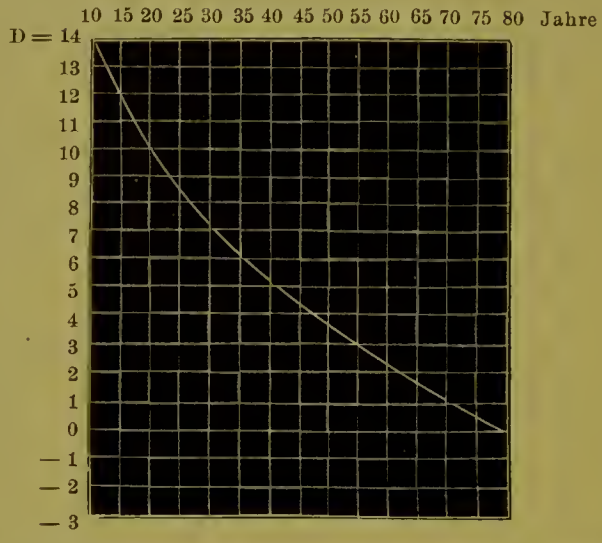

Fig. 70. Bildliche Darstellung der Accommodationsbreite in den verschiedenen Lebensaltern.

Einige Beispiele werden dies klar machen und zugleich lehren, wie die Lage der Accommodationsstrecke, innerhalb deren das zu prüfende Auge entsprechend feine Gegenstände scharf zu sehen vermag, bei der gleichen Breite der Accommodation durch die Verschiedenheit der Refraction beeinflusst wird.

I) Zunächst wählen wir sonst gesunde Menschen im Alter von 20 Jahren, also mit einer Accommodationsbreite von $\frac{1}{4}'' = 10\ D$.

1) Das Auge, dessen Knotenpunkt in K liegt, sei mit Kurzsichtigkeit $\frac{1}{4}'' = 10\ D$ behaftet. Dasselbe liest feinste Schrift bis auf un-

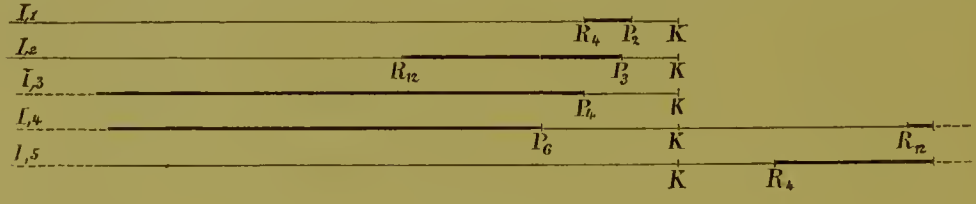

Fig. 71.

gefähr $4'' = 10$ Ctm. vom Auge ab und bis auf $2'' = 5$ Ctm. an das Auge heran.[1])

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R} = \frac{1}{2} - \frac{1}{4} = \frac{1}{4} \text{ oder}$$

$$\frac{1}{A} + \frac{1}{R} = \frac{1}{P} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}.$$

2) Das Auge sei mit Kurzsichtigkeit $\frac{1}{12}'' = 3\ D$ behaftet: dasselbe liest feinste Schrift von $12'' = 30$ Ctm. bis $3'' = 7{,}5$ Ctm.

1) In der Figur 71 sind die Entfernungen auf $^1/_5$ verkleinert.

$\frac{1}{4} + \frac{1}{12} = \frac{1}{3}$. Die Accommodationsstrecke liegt hier schon weit günstiger.

3) Das Auge sei *e*. Es erkennt die normalen Schriftproben auf $20' = 7$ Mtr. und liest feinsten Druck bis auf $4'' = 10$ Ctm. Annäherung.

$$\frac{1}{A} + \frac{1}{R} = \frac{1}{P}$$

$$\frac{1}{4} + \frac{1}{\infty} = \frac{1}{4}$$

Die Accommodationsstrecke liegt sehr günstig. Sie reicht mit dem einen Ende bis in die weiteste Entfernung, mit dem andern bis auf $4'' = 10$ Ctm. an das Auge heran.

Dieser ganz ungeheure Sehbereich ist es, welcher dem stark kurzsichtigen Auge (I, 1) fehlt. Dagegen fehlt des letzteren Sehbereich (von 4 bis 2″, von 10 bis 5 Ctm.) dem *e* Auge, — ohne Nachtheil. Denn wenn es gerade diese Strecke einmal braucht, setzt es sich eine Lupe von 4″ (10 Ctm.) Brennweite auf, — dieselbe, mit der jenes stark kurzsichtige Auge (im Vergleich zum *e*) scheinbar dauernd behaftet ist.

4) Das Auge habe Uebersichtigkeit $\frac{1}{12}'' = 3\,D$.

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} + \frac{1}{R} \text{ oder } \frac{1}{A} - \frac{1}{R} = \frac{1}{P},\ \frac{1}{4} - \frac{1}{12} = \frac{1}{6}.$$

Der Nahepunkt liegt $6'' = 15$ Ctm. vor dem Auge und kann unmittelbar, ohne Hilfsgläser, ermittelt werden.

Wenn ein sonst gesunder Mensch von 20 Jahren gut in die Ferne sieht, aber feinste Schrift nicht bis auf $4'' = 10$ Ctm., sondern nur bis auf $6'' = 15$ Ctm. zu lesen vermag; so ist zunächst immer auf Übersichtigkeit zu prüfen.

Die Accommodationsstrecke dieses *h* Auges zerfällt in 2 Theile. Der eine ist negativ, für wirkliche Gegenstände unbrauchbar, hinter dem Auge belegen, von R_{12} bis „unendlich weit“ hinter dem Auge. Der zweite Theil ist positiv, liegt vor dem Auge und reicht von „unendlich weit“ bis zu P_6, d. h. $6'' = 15$ Ctm. an das Auge heran.

5) Das Auge habe $H\frac{1}{4}'' = 10\,D$.

Dann wird $\frac{1}{P} = \frac{1}{A} - \frac{1}{R} = \frac{1}{4} - \frac{1}{4} = 0 = \frac{1}{\infty}$, d. h. P liegt „unendlich weit“ vom Auge. Dasselbe hat nur eine negative Accommodationsstrecke, es vermag für keinen in endlicher Entfernung belegenen Gegenstand sich einzustellen, — ohne Hilfsgläser.

II) Jetzt betrachten wir die gleichen Refractionszustände an 38jährigen Menschen, bei denen $\frac{1}{A} = \frac{1}{8}'' = 5\ D$, um die verschiedene Lage der Accommodationsstrecke festzustellen.

1) $M\frac{1}{4}'' = 10\ D,\ \frac{1}{P} = \frac{1}{A} + \frac{1}{R} = \frac{1}{8} + \frac{1}{4} = \frac{3}{8} = \frac{1}{2\frac{1}{2}}.$

Der Nahepunkt ist in den 18 Jahren nur von 2 auf $2\frac{1}{2}''$ (von 5 auf 6,25 Ctm.) abgerückt.

2) $M\frac{1}{12}'' = 3\ D,\ \frac{1}{P} = \frac{1}{8} + \frac{1}{12} = \frac{1}{6}.$

Das Abrücken des Nahepunktes (von 3 auf 6″, von 7,5 auf 15 Ctm.) macht sich in diesem Fall schon mehr geltend. Nichtärzte verwechseln dies mit Abnahme der Kurzsichtigkeit. (Abrücken des Fernpunktes!)

3) $E \cdot \frac{1}{P} = \frac{1}{A} + \frac{1}{R} = \frac{1}{8} + \frac{1}{\infty} = \frac{1}{8}.$

Der Nahepunkt ist von 4″ auf 8″, von 10 auf 20 Ctm. abgerückt.

4) $H\frac{1}{12}'' = 3\ D \cdot \frac{1}{P} = \frac{1}{A} - \frac{1}{R} = \frac{1}{8} - \frac{1}{12}'' = \frac{1}{24}''.$

Der Nahepunkt ist bedeutend abgerückt, von 6″ auf 24″, oder von 15 Ctm. auf 60 Ctm.

Lesen feiner Schrift ist ohne Sammelglas nicht mehr möglich, da hierzu ein Abstand des Buches auf 12″ = 30 Ctm. erforderlich wird.

5) $H\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{P} = \frac{1}{A} - \frac{1}{R} = \frac{1}{8} - \frac{1}{4} = -\frac{1}{8}.$

Der Nahepunkt liegt 8″ = 20 Ctm. hinter dem Auge. Schon zum Fernsehen ist ein Sammelglas erforderlich geworden. —

Presbyopie soll „das Sehen der Greise“ bedeuten.[1])

Allgemein bekannt ist die eigenthümliche Haltung, welche Greise beim Betrachten feiner Gegenstände, z. B. beim Lesen, anzunehmen pflegen.

---

1) Die Alten kannten den Zustand (Aristot., Galen, Oribas., Aët., Aegin., Actuar.), aber nicht diesen Namen. Sie sagen immer *οἱ γηρῶντες τὰ ἐγγὺς μὴ ὁρῶντες*. Denn *πρέσβυς, πρεσβύτης* heisst „der geehrte Greis, der Aelteste“: *οἱ γηρῶντες* (oder *γέροντες*) „die alten Leute.“ Heutzutage sind die Ausdrücke presbyopie oder presbytie bei Italienern, Franzosen, Engländern und Deutschen in Gebrauch.

Das Buch wird vom Auge entfernt, so weit der Arm reicht; und durch Rückwärtsbewegung des Kopfes noch die Entfernung zwischen Buch und Auge vergrössert.

Die Ursache der greisen „Weitsichtigkeit“ liegt in dem Abrücken des Nahepunktes, also in der Abnahme der Accommodationsbreite. Presbyopie ist nicht der Gegensatz der Myopie, wie man früher annahm. [1])

Allerdings, der Kurzsichtige hält das Buch nahe, der Weitsichtige hält es weit ab. Aber Kurzsichtigkeit beruht auf Annäherung des Fernpunkts, Weitsichtigkeit auf Abrücken des Nahepunktes.

Die gewöhnliche Ursache der Kurzsichtigkeit ist Verlängerung der Sehachse, die der greisen Weitsichtigkeit Verhärtung der Crystall-Linse. Kurzsichtigkeit ist Abweichung vom normalen Bau des Auges, Weitsichtigkeit ist der normale Zustand des greisen Auges.

Die beiden Zustände sind so wenig einander entgegengesetzt, dass sie sogar gleichzeitig an demselben Auge vorkommen können. Ein 75jähriger mit $M\frac{1}{30}'' = 1{,}25\,D$ hat seinen Fernpunkt $30'' = 75$ Ctm. vor dem Auge und seinen Nahepunkt ebendaselbst, da mit 75 Jahren die Accommodationsbreite auf null verringert ist. Beim Versuche feine Schrift zu lesen wird er das Buch in der geschilderten Weise abrücken oder — in die Tasche greifen und seine Convexbrille hervorziehen. Natürlich ein Mensch mit sehr starker Kurzsichtigkeit wird nie weitsichtig. Liegt der Fernpunkt $6'' = 15$ Ctm. vor dem Auge, so kann der Nahepunkt doch auch im höchsten Alter nicht über den Fernpunkt hinweghüpfen; der Mensch wird stets ohne Convexbrille lesen können.

Wir sahen also, dass die sogen. Presbyopie den normalen Zustand des normalen Auges im Greisenalter darstellt und abhängt von der Abnahme der Accommodationsbreite. Aber diese Abnahme geschieht ganz regelmässig, von der Wiege bis zur Bahre, vom Kindes- bis zum Greisenalter.

Schon in der Blüthe des Lebens nimmt die Accommodationsbreite regelmässig und stetig ab. Jede Grenze, die wir für den Beginn der greisenhaften Weitsichtigkeit festsetzen, ist willkürlich, vom Standpunkt der Wissenschaft betrachtet. Aber genau ebenso ist es, wenn wir irgend eine leichte Abweichung von der Norm untersuchen und uns fragen, wo die Krankheit beginnt. Dies sind rein praktische Begriffe.

1) *Ἐναντία δὲ πάσχουσιν οἱ γηρῶντες τοῖς μύωψι.* (Oribas. Synops. VIII. 54.; Paull. Aeg. VII.). Vgl. übrigens S. 136.

Lebensalter (Jahre)	Accommodationsbreite		Nahepunkt bei Emmetropie	
	Zollmaass	Dioptrien	Zoll	Centimeter
10	$\frac{1}{2\frac{3}{4}}$	14.5	$2^3/_4$	7
15	$\frac{1}{3}$	13	3	7.5
20	$\frac{1}{4}$	10	4	10
30	$\frac{1}{5\frac{1}{2}}$	7	$5^1/_2$	13.75
40	$\frac{1}{9}$	4.5	9	22.5
50	$\frac{1}{16}$	2.5	16	40
60	$\frac{1}{40}$	1	40	100
70	$\frac{1}{160}$	0.25	160	400
75	0	0	∞	∞

Praktisch beginnt für uns die greise Weitsichtigkeit, sowie es nothwendig wird, zum Lesen, Schreiben, Zeichnen, Nähen, Feilen und für die anderen Nahearbeiten der heutigen Cultur[1]) eine Convexbrille zu Hilfe zu nehmen. Dies ist ungefähr mit dem 50. Lebensjahre nothwendig bei emmetropischem Bau der Augen.

Die Feinheit unserer Druckschriften erfordert einen Nahepunkt von etwa 12″ = 30 Cm. Abstand. Sowie der Nahepunkt weiter abrückt, kann feiner Druck, wegen Verkleinerung der Netzhautbilder, nicht auf die Dauer gelesen werden. Eine Convexbrille wird erforderlich, welche den Nahepunkt künstlich wieder auf 12″ = 30 Cm. heranrückt; oder mit anderen Worten, von dem in etwa 12″ Entfernung

---

1) Die Alten hatten keine Brillen.

Sie hatten auch keinen Diamant-Druck. Die grossen römischen Majuskeln antiker Handschriften ermöglichten auch den Greisen das Lesen. Bei künstlicher Beleuchtung wurde nicht viel gelesen. Die schöngestalteten Lampen der Alten brannten nicht sehr hell.

Natürlich gab es auch feinere Schriften, und namentlich Kunstgegenstände, im Alterthum. Aber diese waren nicht gerade für Greise bestimmt.

Der Wilde empfindet die Presbyopie nicht sonderlich. Aber heutzutage kann man auch schon bei Indianern und bei Maoris — Brillen finden.

befindlichen Gegenstand, der Schrift, ein scharfes Bild nahezu[1]) in dem gegenwärtigen Nahepunkt des Auges zu entwerfen vermag. Diese Wirkung des Sammelglases ist leicht verständlich, wie bei einer Lupe.

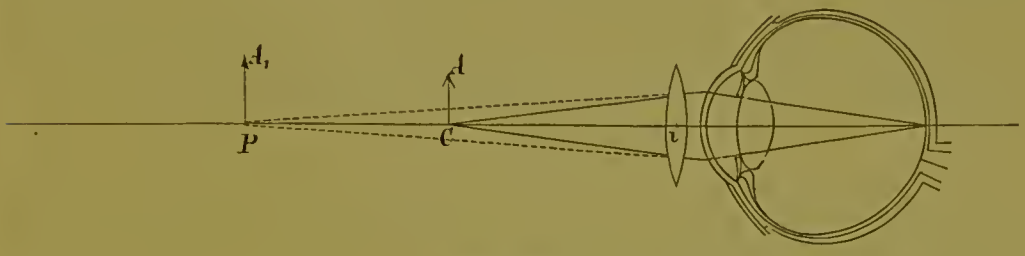

Fig. 72.

Es sei l das sammelnde Brillenglas des alterssichtigen Auges; AC der Gegenstand, die Schriftprobe, in 12″ Entfernung vom Auge; so wird das von einem Punkte c des Gegenstandes ausfahrende Strahlenbündel, welches divergent auf das Brillenglas fällt, durch die sammelnde Wirkung des Glases weniger divergent gemacht, als ob es von einem ferneren Punkte, nämlich von P, dem Nahepunkt des Auges, ausginge. In P wird ein leicht[2]) vergrössertes Bild des Gegenstandes entworfen; dieses wird von dem Auge betrachtet; von diesem wird ein scharfes Netzhautbild gewonnen.

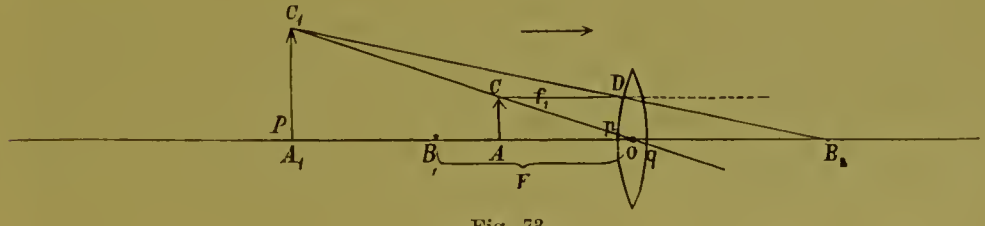

Fig. 73.

Durch Construction[a]) wie durch Rechnung finden wir leicht die Lage und die Grösse des Bildes, wenn die Sammellinse gegeben ist. Aber gewöhnlich haben wir die Sammellinse zu suchen, wenn der Bau des Auges und das Lebensalter, folglich der Nahepunkt, gegeben ist.

a) vergl. S.

Da das Bild ($A_1 C_1$), welches die Sammellinse (O) von der Schrift

---

1) Man wählt nicht genau den Nahepunkt, um nicht das Auge dauernd „unter vollem Dampf“ arbeiten zu lassen.

2) Soll die Brille auf die Dauer befriedigen, so darf sie das Bild nicht zu stark vergrössern. Eine zu starke Lupe verlangt zu starke Convergenz der Augenachsen, bewirkt also Ermüdung der inneren geraden Augenmuskeln[b]); macht auch die Gegenstände mittlerer Entfernung zu undeutlich, sowie der Kranke aufblickt. Ganz allmählich muss mit Zunahme des Alters das Glas verstärkt werden.

b) Rect. int

(AC) entwirft, auf derselben Seite liegt, wie der Gegenstand; so ist die Bildentfernung mit dem negativen Zeichen einzuführen.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2}.$$

Wir haben $f_1 = 12'' = 30$ Ctm. gesetzt, nach dem Gebrauch; f_2 ist gleich P, dem Nahepunktsabstand: folglich wird

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{12} - \frac{1}{P}.$$

Hieraus ersieht man, dass für Emmetropen mit 50 Jahren die Presbyopie schon deutlich hervortritt.

Es ist $P_{50} = 16''$ (= 40 Ctm.)

$$\frac{1}{F_{50}} = \frac{1}{12} - \frac{1}{16} = \frac{4}{192} = \frac{1}{48}.$$

Mit 60 Jahren ist bei Emmetropie $P = 40''$ (= 100 Ctm.).

$$\frac{1}{F_{60}} = \frac{1}{12} - \frac{1}{40} = \frac{28}{480} = \frac{1}{17}.$$

Mit 70 Jahren ist bei Emmetropie $P = 160''$ (= 400 Ctm.).

$$\frac{1}{F_{70}} = \frac{1}{12} - \frac{1}{160} = \frac{1}{12} \text{ (ungefähr).}$$

Wenn man nun berücksichtigt, dass dies nach der Natur der Sache nur angenäherte Werthe sein können, welche wesentlich von dem besonderen Bedürfniss des Einzelnen abhängen und bei dem Gelehrten doch etwas anders sich gestalten, als bei dem Landbauer; so wird man gut thun, die Zahlen abzurunden, um für die greise Weitsichtigkeit der Emmetropen die folgende Tafel zu gewinnen, welche sich in tausendfältiger Anwendung als durchaus praktisch bewährt hat:

Alter	Lesebrille	
50 Jahre	$+ \frac{1}{10}''$	$+ 1\ D$
60 „	$+ \frac{1}{20}''$	$+ 2\ D$
70 „	$+ \frac{1}{12}''$	$+ 3\ D$
80 „	$+ \frac{1}{10}''$	$+ 4\ D$
90 „	$+ \frac{1}{8}''$	$+ 5\ D$

Dass man den 80- und 90jährigen — es giebt deren ja nur wenige! — stärkere Gläser verordnet, als den 70jährigen, ist deshalb zweckmässig, weil mit höherem Greisenalter ziemlich allgemein die

Sehkraft etwas absinkt;[1]) das stärkere Sammelglas dient gleichzeitig als schwache Lupe.

Also haben die Brillenhändler doch Recht, aus der Stärke der Lesebrille auf das Lebensalter zu schliessen, wenigstens wenn die Fernpunktseinstellung bekannt ist.

Und die eitle Frau, welche mit 55 Jahren ihr Alter auf 40 angiebt, vermag den Erfahrenen nicht zu täuschen.

A. Durch Krankheit des Körpers, bei gesunden Augen, wird das Gesetz der Brillenwahl geändert. Bei Zuckerharnruhr braucht eine 40jährige öfters die Brille einer 60jährigen; hierdurch allein habe ich wiederholt die Grundkrankheit erkannt und — gebessert. Wenn bei Kindern plötzlich die Nothwendigkeit einer Convexbrille zum Lesen sich herausstellt, so ist in der Regel diphtherische Halsentzündung voraufgegangen.

B. Natürlich giebt es auch örtliche Augenleiden, welche die Accommodation verringern. Hierher gehört die Drucksteigerung.[a])

a) Glauco

C. Durch Ametropie wird die Grenze der Presbyopie verschoben, hinaus bei Kurz-, herein bei Uebersichtigkeit.

Am einfachsten denkt man sich den ametropischen Greis durch sein Fernglas corrigirt, d. h. nahezu emmetropisch gemacht; und fügt zu diesem Fernglas das für den gleichaltrigen Emmetropen nöthige Leseglas: denn die Accommodationsbreite hängt ja nur von dem Lebensalter ab, nicht von dem Brechzustande. Aus der Zusammenfügung[b]) der beiden Gläser erhält man das Gesuchte.

b) algebrais Addition

Ein 50jähriger habe $M\,\frac{1}{40}'' = 1\ D$; sein Fernglas ist $-\,\frac{1}{40}''$; das Leseglas eines 50jährigen Emmetropen ist $+\,\frac{1}{40}''$. Die beiden Gläser gleichen sich vollständig aus.

$$+\,\frac{1}{40}'' - \frac{1}{40}'' = 0.$$

Zum Lesen braucht er gar kein Glas. Falls er bisher die Gewohnheit hatte, seine Fernbrille stets aufzubehalten, wird er jetzt fast unbewusst dieselbe beim Lesen auf die Stirne schieben. Nach zehn Jahren wird die Sache für ihn anders. Das Fernglas ist $-\,\frac{1}{40}''$, das Leseglas eines 60jährigen Emmetropen $+\,\frac{1}{20}'' = 2\ D$; $-\,\frac{1}{40}'' + \frac{1}{20}'' = +\,\frac{1}{40}''$.

1) Vgl. den Abschnitt von der Messung der Sehschärfe.

Ein Mensch mit $M\ \frac{1}{40}$ braucht mit 60 Jahren zum Lesen $+\ \frac{1}{40}'' =$ 1 D; und mit 70 Jahren $+\ \frac{1}{20}'' = 2\ D$, da $-\ \frac{1}{40}'' + \frac{1}{12}'' = +\ \frac{1}{20}''$.

Ein Mensch mit etwas stärkerer Kurzsichtigkeit, $M\ \frac{1}{20}'' = 2\ D$. muss mit 60 Jahren anfangen, beim Lesen die Concavbrille abzusetzen und mit 70 Jahren eine Convexbrille aufzusetzen, obwohl die Kurzsichtigen sich lange gegen diese Lesebrille zu sträuben pflegen.

$$-\ \frac{1}{20}'' + \frac{1}{20}'' = 0 = \frac{1}{\infty}$$

$$-\ \frac{1}{20}'' + \frac{1}{12}'' = +\ \frac{1}{40}'' = 1\ D.$$

Ein Mensch mit $M\ \frac{1}{8}'' = 5\ D$ wird selbst im höchsten Alter ohne Brille lesen können; denn, ist er 90 Jahre alt geworden, so gilt $+\ \frac{1}{8}'' - \frac{1}{8}'' = 0 = \frac{1}{\infty}$.

Diejenigen, welche mit ihren Augen prahlen, dass sie bis zum 70ten Jahre und darüber ohne Brille feine Schrift bequem zu lesen oder zu sticken, zu nähen im Stande seien, sind immer — kurzsichtig.[1]) Ausnahmen giebt es nicht. Dass sie in die Ferne nicht so gut sehen, wie Emmetropen, wird ihnen weniger bewusst, besonders wenn sie Ferngläser nie getragen haben.

Entgegengesetzt verhalten sich die Übersichtigen. Ein Mensch mit $H\ \frac{1}{40} = 1\ D$ wird mit 50 Jahren ein Glas zum Lesen gebrauchen, dessen Brechkraft sich zusammensetzt aus der des Fernglases, $+\ \frac{1}{40}'' = 1\ D$, und der des Leseglases für den 50jährigen Emmetropen, gleichfalls $\frac{1}{40}'' = 1\ D$.

$$+\ \frac{1}{40}'' + \frac{1}{40}'' = \frac{1}{20}'' = 2\ D.$$

Der 50jährige Mensch mit schwacher H braucht das Leseglas des 60jährigen E. Mit 60 Jahren braucht der nämliche Mensch mit $H\ \frac{1}{40}''$ zum Lesen schon $\frac{1}{40} + \frac{1}{20} = \frac{1}{12}'' = 3\ D$ u. s. f. Aber schon mit 40 Jahren hatte er zum Lesen dasjenige Glas nöthig, welches

---

1) Zum mindesten auf einem Auge. —

Der beginnende Greisenstar bewirkt Kurzsichtigkeit, aber mit Herabsetzung der Sehschärfe.

der 50jährige Emmetrope gebraucht. Verfrühte Alterssichtigkeit ist gewöhnlich Übersichtigkeit.

Donders nimmt an, dass *E* des Mannesalters regelmässig in *H* des Greisen übergehe. Dies kann ich aus meiner Erfahrung nicht bestätigen; in vielen Einzelfällen habe ich die *E* des 50jährigen bei dem 65jährigen wiedergefunden und ebenso die schwache oder mässige *H* des 50jährigen beim 70jährigen unverändert wiedergefunden. Dagegen ist die von demselben Forscher entdeckte Thatsache, dass bei jugendlichen *h* ein Theil der gesammten *H* verborgen[a] bleibt, d. h. durch andauernde,[b] im Dienste des Scharfsehens unbewusst geübte Zusammenziehung des Accommodationsmuskels verdeckt werde, von mir nicht blos, wie von allen Beobachtern, bestätigt, sondern durch eine längere Untersuchungsreihe nach Zahl und Maass klargelegt worden.[1] Wir bezeichnen mit H_t die totale Hypermetropie, wie sie nach künstlicher Lähmung des Accommodationsmuskels, durch Atropineinträuflung, hervortritt; mit H_{to} dieselbe, wenn sie mit Hilfe des Augenspiegels festgestellt worden; mit H_m die manifeste *H*, die gemessen wird durch das stärkste Sammelglas, das beim Fernsehen noch angenommen wird, d. h. die Fernsicht verbessert oder zum mindesten gar nicht verschlechtert; mit H_l die latente: so dass $H_t = H_m + H_l$.

a) latent.
b) tonische

Blickt das *h* Auge im dunklen Zimmer ruhig geradeaus, so schwindet von selber jene „tonische" Zusammenziehung des Accommodationsmuskels, die der jugendliche *h* nur im Dienste des Scharfsehens, so lange er einen Gegenstand fixirte, geleistet hat; der geübte Beobachter findet mit dem Augenspiegel den ganzen Betrag der *H*; wenigstens findet er nicht einen grösseren, wenn er die Accommodation des zu prüfenden Auges mit Atropin gelähmt hat.[2]

Das Ergebniss der Untersuchung ist das folgende:[3]

mit 10 Jahren ist $H_m = \frac{1}{3} H_{to}$,
„ 20 „ „ $H_m = \frac{1}{2} H_{to}$,
„ 30 „ „ $H_m = \frac{3}{4} H_{to}$,
„ 40 „ „ $H_m = H_{to}$.

Je reicher der Mensch an Accommodationskraft, desto grösser ist

1) C. Bl. f. A. 1883, S. 192.

2) Ungeübte Beobachter wollen das bestreiten. Einige haben sogar ihr eigenes Auge atropinisirt, um sicher zu gehen! Sie könnten auch — die Augen des Gehilfen, der den Kopf hält, atropinisiren.

3) Die Zahlen sind Mittelwerthe.

Verschiedenheit der Refraction in beiden Augen, Schielen, Accommodationslähmung, dauerndes Tragen von Convexbrillen bewirken, dass ein grösserer Theil der verdeckten *H*, ja die ganze, auch im jugendlichen Lebensalter, zu Tage tritt.

der Theil derselben, den er aufwendet zum Scharfsehen in die Ferne. In der Kindheit wird der grösste Theil der *H* (nämlich $^2/_3$) verdeckt, im Jünglingsalter die Hälfte, im Mannesalter immer weniger, gegen das Greisenalter zu gar nichts mehr. Das stimmt genau mit der Accommodationsbreite $\frac{1}{A}$ und ihrer Abnahme bei wachsendem Lebensalter.

Durch diese zahlenmässige Aufstellung sind wir in den Stand gesetzt, den jugendlichen Hypermetropen, welche noch nicht lesen können, oder aus Befangenheit die Leseprobe nicht bestehen, mit Hilfe der objectiven Refractionsmessung, d. h. mit Hilfe des Augenspiegels, die richtige Brille zu verordnen, mit welcher sie zunächst lesen lernen und ihre Schulbildung durchzumachen im Stande sind. Dies ist ein Triumph der ärztlichen Diagnostik, und wird nur von denen missachtet, welche die nöthige Uebung im Augenspiegeln noch nicht erworben haben.

Gesunde Menschen brauchen die Bethätigung ihrer Muskeln. Nur die manifeste *H* soll corrigirt werden. Es ist falsch, Atropin einzuträufeln und dann zur Brillenwahl zu schreiten. Diese Brillen sind zu scharf und werden später wieder verworfen.

Ich schliesse mit einer übersichtlichen Tafel der Convexbrillen zum Lesen in 12″ = 0.3 Meter:

Lebens-Alter	*Ht* 9 *D*	*Ht* 6 *D*	*Ht* 3 *D*	*Ht* 2 *D*	*Ht* 1 *D*	*E*	*M* 1 *D*	*M* 2 *D*	*M* 3 *D*	*M* 4 *D*	*M* 5 *D*
6 Jahre	3 *D*	2 *D*	1 *D*	—	—	—	—	—	—	—	—
10 „	3.5 *D*	2.5	1.25	—	—	—	—	—	—	—	—
20 „	4.5 *D*	3	1.5	1 *D*	—	—	—	—	—	—	—
30 „	6 *D*	4.5	2	1.5	—	—	—	—	—	—	—
40 „	9 *D*	6	3	2	1 *D*	—	—	—	—	—	—
50 „	10 *D*	7	4	3	2	1 *D*	—	—	—	—	—
60 „	11 *D*	8	5	4	3	2	1 *D*	—	—	—	—
70 „	12 *D*	9	6	5	4	3	2	1 *D*	—	—	—
80 „	13 *D*	10	7	6	5	4	3	2	1 *D*	—	—
90 „	14 *D*	11	8	7	6	5	4	3	2	1 *D*	—

Verschiedenheit der Fernpunktseinstellung[1]) auf beiden Augen kommt nicht allzu selten vor. Geringe Unterschiede

1) Wem dies zu klar ist, der kann Refractions-Differenz sagen oder Anisometropie. (Ἀ privativum, ἴσος gleich, μέτρον Maass, ὤψ Gesicht.) Das erstere

kommen den Befallenen öfters gar nicht zum Bewusstsein. Grössere gereichen mitunter, namentlich älteren Leuten, zum Vortheil, insofern das eine Auge vorwaltend zum Fernsehen, das andere zum Nahesehen gebraucht wird, ohne Hilfsgläser und ohne Störung des gemeinschaftlichen Sehens mit beiden Augen. Gelegentlich bewirkt aber der Unterschied beider Augen eine erhebliche Störung, bedingt Schielen und Doppeltsehen und muss durch Hilfsgläser ausgeglichen werden.

Da das normale Sehen gemeinschaftlich ist, mit beiden Augen, und auch der Antrieb zur Nahe-Einrichtung in gleicher Stärke auf beide Augen geworfen wird; so muss man die verschiedenen Augen eines solchen Menschen gleich zu machen suchen, nämlich zum Fernsehen nahezu emmetropisch, zum Nahesehen in gleicher Weise kurzsichtig.

Es giebt Fälle, welche diese Ausgleichung gebieterisch erheischen. Bei schwächerer Kurzsichtigkeit des einen, stärkerer des anderen Auges, z. B. von 2. bezw. 4 *D*, ist es nothwendig, diese Gläser zu geben, weil die Menschen sonst nicht zu arbeiten im Stande sind. In anderen Fällen ist eine theilweise Ausgleichung nothwendig, da die vollständige nicht vertragen wird.

Ein Kurzsichtiger, der auf dem einen Auge noch gut sieht, auf dem andern nach der Star-Operation stark übersichtig geworden, hat öfters Unbehagen und Doppeltsehen, wenn jedes der beiden Augen sein richtiges Fernglas trägt; giebt man dem kurzsichtigen Auge ein ebenes Glas, dem star-operirten das sammelnde Fernglas, so ist diese Brille zum Fern- wie zum Nahesehen bequem und brauchbar.

In manchen Fällen ist eine Vermittlung nothwendig. Die beiden verschiedenen Augen müssen durch Gläser ähnlich, aber nicht ganz gleich gemacht werden.

Wort wird vorgezogen, wenn beide Augen kurzsichtig sind, aber in verschiedenem Grade; oder beide übersichtig, aber in verschiedenem Grade. Das zweite Wort wird angewendet, wenn das eine Auge kurz-, das andere übersichtig. Oder auch, wenn ein Auge kurz-, oder übersichtig, das andere *e*; doch ist hier eigentlich der erstgenannte Name passender, da *E* den Grenzfall sowohl der *M* als auch der *H* darstellt. Das zweite Wort müsste eigentlich An-homoeo-metropie heissen. (Von ὅμοιος, gleichartig.)

Sechster Abschnitt.

Dioptrik.

Die Wirkung der Glaslinsen.

Das Auge als optisches Werkzeug.

Die Geschichte der Wissenschaften lehrt, dass die optische Wirkung des menschlichen Auges nicht eher verständlich geworden ist, als bis man die Lichtbrechung (Dioptrik)[1] der auf Kugelflächen geschliffenen Glaslinsen begriffen hatte.

Die alten Griechen besassen eine genügende Kenntniss von dem Bau des Auges, aber gar keine von seiner Wirkung, da sie das Lichtbrechungsgesetz nicht verstanden. Dies zu ergründen bemühten sich die an die Schriften der späteren Griechen (Ptolemaeus, 140 n. Chr.) anknüpfenden Gelehrten des Mittelalters. Araber wie Europäer. (Alhazen, um 1100 n. Chr., Roger Baco. Vitellio.)

Die Brillengläser wurden zu Ende des dreizehnten Jahrhunderts unserer Zeitrechnung bekannt und rasch verbreitet.[2] Aber

---

1) *τὸ δίοπτρον* die Guckröhre, von *διά* durch und *ΟΠΤΩ* sehen, *ἡ διοπτρεία* das Visiren, *διοπτρικός* auf das Durchsehen bezüglich; *διοπτρική* (sc. *τέχνη*) die Lehre vom Durchgang des Lichtes: im astronomischen Sinn bei Proclus ad Euclid. (450 n. Chr.). — Dioptrik in unserem Sinne war den Alten unbekannt, da sie die Lichtbrechung nicht verstanden. [Sie kannten dieselbe freilich und nannten sie *ἀνάκλασις*. Aristoteles, Theophrast, Plutarch.] Das erste Buch über Dioptrice schrieb Kepler 1611; das zweite Descartes 1639, schon mit Benutzung des Brechungsgesetzes.

Heutzutage ist Dioptrik Lichtbrechung, Katoptrik Lichtspiegelung. (*κάτοπτρον* Spiegel.)

2) Vgl. S. 93.

sogar noch Porta (1583), welcher die mit einer Sammellinse ausgestattete Dunkelkammer[a] erfand und dieselbe sofort mit dem Auge verglich, blieb in dem Aberglauben der Alten befangen, dass die Crystall-Linse den lichtempfindlichen Theil des Auges darstelle; dass die Bilder der äusseren Gegenstände auf der Crystall-Linse entworfen würden. Erst dem ebenso bescheidenen wie grossen Kepler (1611) verdanken wir eine richtige Darstellung der Wirkung erhabener wie ausgehöhlter kugliger Glaslinsen und auch des menschlichen Auges, das mit Hilfe seines lichtsammelnden Apparates von dem lichtaussendenden Gegenstand der Aussenwelt ein ähnliches, verkleinertes, umgekehrtes Bild auf der Netzhaut entwirft.

a) Camera obscura

Es lässt sich nicht leugnen, dass man bereits am Ende des vorigen Jahrhunderts eine ziemlich befriedigende Kenntniss von der Dioptrik des menschlichen Auges besass.

Aber zum klaren Verständniss fehlten immer noch zwei Dinge, welche erst in der Mitte unseres Jahrhunderts gewonnen wurden: erstlich eine genauere Kenntniss der optischen Constanten des lebenden Menschenauges, welche erst durch Helmholtz angebahnt wurde; und zweitens eine einfache Lösung der allgemeinen Aufgabe die Dioptrik kugliger Flächen, welche von Gauss[1]) in Göttingen (1841) uns geliefert worden ist.

Es zeigte sich nämlich, dass Porta's berühmter Vergleich des menschlichen Auges mit einer Dunkelkammer, welcher in allen Lehrbüchern der Anatomie, Physiologie und Augenheilkunde sowie auch in volksthümlichen Schriften bis zum Ueberdruss wiederholt ward, dem vollen Verständniss der Lichtbrechung des Auges auch in mancher Beziehung hinderlich gewesen ist.

Bei der Dunkelkammer dringen die Lichtstrahlen aus Luft in Glas ein und fahren wieder aus in Luft; die vordere Brennweite der Sammellinse ist gleich der hinteren.

Bei dem Auge dringen die Lichtstrahlen aus Luft in die brechenden Mittel ein und bleiben im Glaskörper, dessen Brechungszahl grösser ist, als die der Luft, im Verhältniss von $\frac{4}{3}$ zu 1 oder von 4 : 3; deshalb ist auch die hintere Brennweite des Auges in demselben Verhältniss von 4 : 3 länger, als die vordere.

Ferner ist das Objectivsystem des Auges im Verhältniss zur Brennweite viel dicker, als das einer Dunkelkammer; seine Dicke von

1) Dioptrische Untersuchungen von C. F. Gauss, Göttingen, 1841, 4°, 34 Seiten.

der Vorderfläche der Hornhaut bis zur Hinterfläche der Crystall-Linse misst 8 Mm., die hintere Brennweite des Auges 16 Mm., in runden Zahlen. Bei so dicken Linsen braucht man eine schärfere Definition derjenigen Hauptpunkte, von welchen aus die Brennweiten zu rechnen sind.

Dies ist mit der Dioptrik des vorigen Jahrhunderts, wie wir sie z. B. in dem für ihre Zeit klassischen Werk von Euler[1]) finden, nicht durchzuführen; hierzu bedarf man der neuen Dioptrik, die Gauss geschaffen.

Obwohl die Darstellung dieses bahnbrechenden Mathematikers ziemlich elementar ist und nur die Anfangsgründe der analytischen Geometrie voraussetzt, so ist sie doch den Aerzten ziemlich unbekannt geblieben, da dieselben den mathematischen Erörterungen noch heute so abhold sind, wie zu den Zeiten des alten Galenus. Fick hat die Gauss'sche Lehre in der ersten Auflage seines Lehrbuches der medizinischen Physik dargestellt, in der zweiten aber wieder gestrichen, wahrscheinlich doch deshalb, weil er seinen Lesern kein rechtes Verständniss dafür zutraute. Helmholtz hat sie umgegossen in eine elementar-geometrische Form, welche nur die trigonometrischen Grundbegriffe voraussetzt.

Diese Darstellung ist vielfach, mit geringen Aenderungen, wiederholt worden, so von Stammeshaus in seiner Dioptrik des Auges u. A.

Aber da selbst ein Donders gesteht, dass ihm das Studium des dioptrischen Theiles von Helmholtz einige Anstrengung kostete und dass er den Untersuchungen von Gauss nicht zu folgen vermöchte; da seine eigne Darstellung der Dioptrik sowie die vortrefflichen von Neumann,[2]) Lang, Reusch, Wüllner, Röthig, Matthiessen, Gavaret,[3]) Heath[4],) die umfangreiche ophthalmologische Physik von Gerold, sowie das kleine Büchlein von Happe, das vorzügliche Werk von Ferraris-Lippich,[5]) die Abhandlungen von Fick in Herrmann's Handbuch der Physiologie und

---

1) Dioptrica. Petersburg 1769—1771. III Bände, 4°. Wer sich bequem über Euler's Dioptrik unterrichten will, studire die analytische Dioptrik von Klügel, Leipzig 1778, II Th., 304 S.

2) Die Haupt- und Brennpunkte eines Linsensystems von Prof. C. Neumann, Leipzig 1866, 41 S.

3) Des images par reflexion et par refraction. Paris 1866, 8°, 186 S.

4) Elementary Treatise on geometrical optics, Cambridge 1888, 212 S.

5) Die Eigenschaften der dioptrischen Instrumente, von Prof. Ferraris in Turin, deutsche Ausgabe von Prof. Lippich, Leipzig 1879, 221 S.

die von Aubert im Handbuch der Augenheilkunde von Graefe-Saemisch immer noch nicht der Mehrzahl der Aerzte das Verständniss der Dioptrik eröffnet haben: so will ich versuchen, eine eigne Darstellung des wichtigen Gegenstandes zu geben, welche wenigstens für das ärztliche Bewusstsein einfacher zu sein scheint, ohne an Allgemeinheit oder Schärfe einzubüssen. Damit die Darstellung voraussetzungslos und für jeden Mediziner sofort lesbar sei, ist es nothwendig, einige physikalisch-mathematische Bemerkungen voraufzuschicken.

Definitionen.

I. Das Gesetz der Lichtbrechung lautet (nach Snellius-Descartes) folgendermassen:

Fällt ein Lichtstrahl auf die Trennungsfläche zwischen zwei verschiedenen durchsichtigen Mitteln, von denen jedes in sich gleichartig[1]) ist: so liegt der gebrochene Strahl in der durch den einfallenden Strahl einerseits und das Einfallsloth andrerseits bestimmten Ebene; und ferner ist das Verhältniss des Sinus vom Einfallswinkel zu dem Sinus des Brechungswinkels ein constantes für dasselbe Paar von brechenden Mitteln.

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r. \quad \text{(Vgl. Fig. 74.)}$$

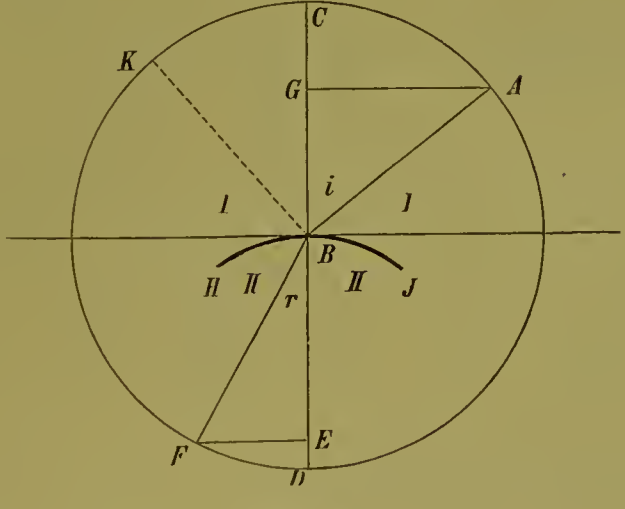

Fig. 74.

Der Einfallswinkel ist $\angle ABC = i$, zwischen dem einfallenden Strahl AB und dem Einfallsloth BC, das im Einfallspunkt B auf der

1) iso-trop: von ἴσος gleich und τρόπος Wendung, Drehung.

Trennungsfläche HBJ errichtet ist. Der Brechungswinkel ist $\angle DBF = r$, zwischen dem in das zweite Mittel hinein verlängerten Einfallsloth BD und dem gebrochenen Strahl BF. Ferner sind n_1 und n_2 hier zwei durch die Beschaffenheit der beiden durchsichtigen Mittel bestimmte Constanten. Bekanntermassen ist $n_1 = \frac{c}{c_1}$ und $n_2 = \frac{c}{c_2}$, wenn c die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes im leeren Raume, c_1 die im Mittel I und c_2 die im Mittel II bedeutet.

n_1 heisst das Berechnungsverhältniss des Mittels I. Für den leeren Raum wird $n = \frac{c}{c} = 1$. Für Luft ist n von 1 kaum verschieden, nämlich = 1,00029 bei 0^0 und dem Druck einer Quecksilbersäule von 760 Mm. Höhe.

In einem dichteren Mittel ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit geringer, als in einem dünneren; z. B. in Wasser geringer, als in Luft. Wenn also I Luft, II Wasser bedeutet, ist $c_2 < c_1$; $\frac{1}{c_2} > \frac{1}{c_1}$; $n_2 > n_1$.

Dieses Brechungsgesetz ist durch die Erfahrung als richtig nachgewiesen und steht auch in voller Uebereinstimmung mit der Theorie,[1]) nach welcher die Lichtbewegung behandelt wird als wellenartige, senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung von Statten gehende Schwingungen der Theilchen eines elastischen Lichtäthers.

Der Lichtstrahl ist die Senkrechte zur Wellenfläche; bei kuglig von einem Mittelpunkt sich ausbreitenden Wellen ist er der Halbmesser der concentrisch sich ausbreitenden Kugelflächen.

Von dem auf die Trennungsfläche zwischen zwei verschiedenen durchsichtigen Mitteln auffallenden Licht wird ein Theil zurückgeworfen und bleibt im ersten Mittel; ein Theil dringt in das zweite Mittel ein und wird dabei gebrochen. Betrachten wir AB als ein sehr schmales Strahlenbündel, so theilt sich dasselbe bei B in zwei (i. A. verschiedene) Theile, in den zurückgeworfenen BK und den gebrochenen BF.

Schlägt man einen Kreis um B mit dem Halbmesser AB, der gleich der Einheit des Längenmaasses ist ($AB = 1$); und fällt von A und von F die Senkrechten AG und FE auf das Einfallsloth: so ist

$$AG = \sin i. \quad \left(\frac{AG}{AB} = \sin i,\ AB = 1\right). \quad EF = \sin r.$$

---

1) Abhandlung vom Licht. Von Chr. Huygens, 1678. Herausgegeben von E. Lommel, Leipzig 1890, S. 36.

Wie auch für die beiden Mittel *I* und *II* der Einfallswinkel i sich ändern mag, immer ist das Verhältniss $\frac{\sin . i}{\sin . r}$ ein constantes, nämlich gleich $\frac{n_2}{n_1} = \nu$. Diese Zahl ν wird der Brechungsindex für den Uebergang des Lichtes aus *I* in *II* oder für das Paar *I—II* genannt.

Da nun selbstverständlich auch $n_2 \sin r = n_1 \sin i$; so muss wenn im Mittel *II* ein Strahl von *F* nach *B* verläuft, derselbe nach der Brechung im Mittel *I* von *B* nach *A* verlaufen.

Der einfallende und der gebrochene Strahl sind für dasselbe Paar von Mitteln aneinander gebunden;[a] sie können ihre Rollen tauschen.

a) conjugi

Der Brechungsindex ist für den Uebergang des Lichtes aus Luft in Wasser annähernd gleich $\frac{4}{3}$ oder 1,3; aus Luft in Glas $\frac{3}{2}$ oder 1,5; aus Luft in Kammerwasser oder Thränenflüssigkeit des Auges gleich 1,3; aus Luft in die gleichförmig vorgestellte Crystall-Linse ungefähr gleich 1,45.

Die Zahl ν wechselt für die verschiedenen Paare von durchsichtigen Mitteln zwischen $\frac{1}{3}$ und 3; kann aber nie null werden, da die so ungeheure Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, die im leeren Raume 300 000 Kilometer in der Sekunde beträgt, beim Uebergang in die durchsichtigen Körper nur in verhältnissmässig geringem Grade verkleinert wird.

Da ν niemals null wird, so muss $r = 0$ sein, wenn $i = 0$ ist: d. h., wenn der Lichtstrahl lothrecht einfällt, in Richtung *CB*; so wird er nicht abgelenkt, sondern geht ungebrochen im *II.* Mittel weiter, in Richtung *BE*.

Für endliche Werthe von i (zwischen 0 und 90^0) wird, wenn *II* optisch dichter als *I*, d. h. $n_2 > n_1$ oder $c_2 < c_1$, der Strahl in *II* dem Lothe zugebrochen.

Ist hingegen das *II.* Mittel optisch dünner, so wird der Strahl in demselben vom Lothe weggebrochen. Das sieht man sofort, wenn man in Fig. 74 das untere Mittel als das erste betrachtet.

II. Als Maass des Winkels $ABC = i$ (Fig. 75) dient die Länge desjenigen Kreisbogens $a = DE$, welcher, mit dem Halbmesser r gleich der Längeneinheit construirt, zwischen den beiden Schenkeln *AB* und *CB* des genannten Winkels liegt.

Der Umfang des ganzen Kreises mit dem Halbmesser $r = 1$ hat bekanntermassen die Länge $2 \cdot \pi \cdot r = 2 \times 3.141 \cdots \times 1 = 6.282$. (Zolle, wenn $r = 1$ Zoll; Meter, wenn $r = 1$ Meter, u. s. w.)

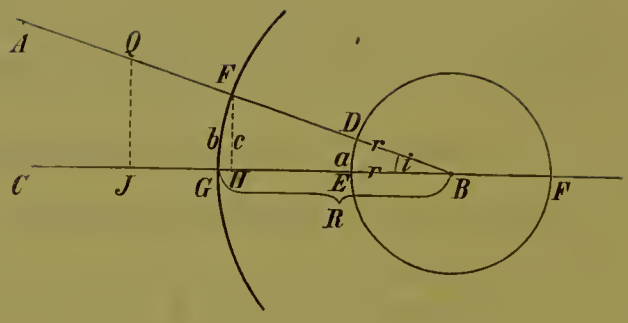

Fig. 75.

Die sämmtlichen ebenen Winkel rings um den Punkt B machen 4 Rechte aus oder $4 \times 90 = 360$ Winkelgrade. Ist $\angle ABC$ gleich i Winkelgraden, so wird

$$\frac{a}{2\pi r} = \frac{i^0}{360^0}, \text{ also}$$

$$a = \frac{2\pi i}{360} = \frac{\pi i}{180} = 0{,}017 \times i,$$

wenn i die Zahl der Winkelgrade bedeutet.

Auf einem anderen Kreise, der um denselben Punkt B mit dem beliebigen Halbmesser $R = BG$ geschlagen ist, liegt der Bogen $FG = b$ zwischen den Schenkeln desselben Winkels i.

$$\frac{b}{a} = \frac{R}{r} = \frac{R}{1}.$$

$$b = aR, \text{ oder } a = \frac{b}{R}.$$

Also ist auch $\frac{b}{R}$ das Maass des Winkels i.

Wenn i nur wenige Winkelgrade beträgt, also viel kleiner ist, als er in der Figur, der Deutlichkeit halber, gezeichnet wurde; so fällt der Bogen FG nahezu mit dem von F auf BC gefällten Lothe ($FH = c$) zusammen. Punkt G fällt ganz nahe an Punkt H. D. h., für sehr kleine Winkel i ist das Maass auch gleich $\frac{c}{R}$ oder sin i.

Da dann auch BH nur unendlich wenig von $BG = R$ sich unterscheidet; so kann man für $\frac{c}{R}$ auch setzen $\frac{c}{BH}$ oder tang. i.[1])

1) Bekanntermassen wird das Verhältniss

$\frac{FH}{FB}$ als Sinus des Winkels i bezeichnet,

So findet man auch in den Tafeln, dass für $\angle \varphi$ bis 10 Grad arc. φ, sin. φ, tang. φ in den ersten zwei Decimalen völlig übereinstimmen.

Winkel	Arcus	Sinus	Tang.	Cosinus
1^0	0,0175	0,0175	0,0175	0,9998
5^0	0,0873	0,0872	0,0875	0,9962
10^0	0,1745	0,1736	0,1763	0,9848.

III. Das vereinfachte Brechungsgesetz.

Also geht das Brechungsgesetz

$$\text{a)}\quad n_1 \sin a_1 = n_2 \sin a_2$$

für sehr kleine Einfallswinkel über in die einfachere Form

$$\text{b)}\quad n_1 a_1 = n_2 a_2.$$

Wie gering die Abweichung für Winkel unter neun Grad, ersieht man aus der folgenden Tafel, welche den Uebergang des Lichtes aus Luft in Glas behandelt.

$$\frac{n_2}{n_1} = \nu = \frac{3}{2};\quad a_2 = \frac{n_1}{n_2} a_1 = \frac{1}{\nu} a_1 = \frac{2}{3} a_1.$$

Einfallswinkel	Angenäherter Werth des Brechungswinkels, nach b.	Genauer Werth des Brechungswinkels, nach a.
3^0	2^0	$1^0\ 59'\ 58''$
6^0	4^0	$3^0\ 59'\ 45''$
9^0	6^0	$5^0\ 59'\ 10''$
12^0	8^0	$7^0\ 58'\ 2''$
15^0	10^0	$9^0\ 56^0\ 10'$.

$\frac{BH}{BF}$ als Cosinus,

$\frac{FH}{HB}$ als Tangente,

$\frac{HB}{HF}$ als Cotangente.

Der Punkt F des einen Schenkels, von dem aus das Loth auf den andern gefällt ward, ist beliebig, da wegen Gleichheit aller Winkel

$$\triangle FHB \sim \triangle QJB, \text{ also } \frac{FH}{HB} = \frac{QJ}{JB}, \text{ u. s. w.}$$

Mit Galen bitte ich die Wissenden um Verzeihung *διὰ τοὺς ἀγνοοῦντας πολλῷ πλείους ὄντας.* (Vom Nutzen der Theile, Buch 10, Hauptstück 12.)

So lange der Einfallswinkel die Grösse von neun Grad nicht überschreitet, sind die angenäherten Werthe der Brechungswinkel (nach b) von den genaueren (nach a) nicht um eine ganze Bogenminute verschieden. Eine Bogenminute ist aber der kleinste Unterscheidungswinkel des menschlichen Auges. Die zulässige Grenze der annähernden Betrachtung ist also bestimmt durch den Bau unseres Sehorgans.[1])

Dioptrik kugliger Flächen.

I. Lichtbrechung an einer Kugelfläche.

§ 1. Sei $S_1 S S_2$ (Fig. 76) der Durchschnitt einer kugligen Trennungsfläche zwischen den beiden durchsichtigen, in sich gleich-

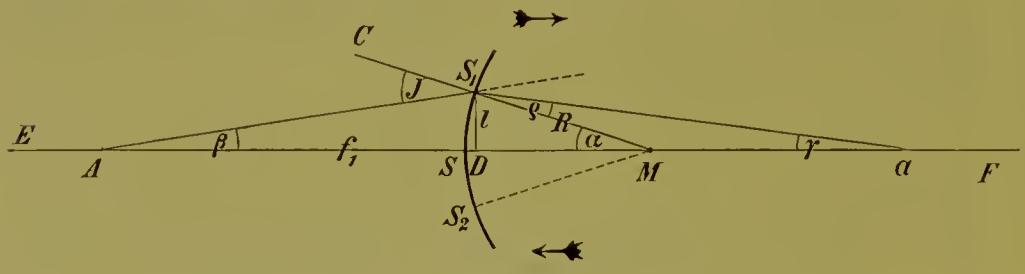

Fig. 76.

förmigen Mitteln *I* und *II* (z. B. Luft und Glas) mit der Ebene der Zeichnung.

Das Mittel *I* habe den Brechungsindex n_1, das Mittel *II* aber n_2.

S sei der Scheitel, *M* der Krümmungsmittelpunkt des kleinen
a) Apertur. Kreisbogenstücks $S_1 S_2$; $\angle S_1 M S_2 = 2\alpha$, die Oeffnung[a]) der einfachen, brechenden Kugelfläche (Simplum), sei ein so kleiner Winkel, dass der Unterschied zwischen sin α und arc. α verschwindet. Also ist $S_1 S_2$ eine kleine Grösse gegen $SM = R$. Die Grade *EF*, welche durch *M* und *S* geht, heisst die Hauptachse.

Jeder von *M* nach einem Punkte der Kugelfläche gezogene Halb-
b) Radius. messer[b]) stellt für diesen Punkt das Einfallsloth dar. Jeder Strahl, der in Richtung eines Halbmessers auf die Kugelfläche einfällt, muss unabgelenkt im *II.* Mittel weiter ziehen, z. B. *AS* in Richtung *SMF*.

A sei ein Lichtpunkt in der Hauptachse, AS_1 ein beliebiger Lichtstrahl.

---

1) Vgl. meine Abhandl. in E. du Bois-Reymond's Archiv, 1877.

Dann ist $MS_1 C$ das Einfallsloth und $\angle AS_1 C = \angle J$ der Einfallswinkel.

Es sei dies ein kleiner Winkel, $\leqq 9^0$ oder $\leqq \frac{\pi}{20}$ oder $\leqq 0{,}15$: d. h. wir beschränken unsere Betrachtung auf die der Hauptachse nahen, fast senkrecht auf die Kugelfläche einfallenden Lichtstrahlen.

AS_1 wird bei S_1 gebrochen; und zwar, wenn wir $n_2 > n_1$ setzen, nach der Achse zu: der gebrochene Strahl[1]) muss die Achse schneiden. Der Schnittpunkt sei a. $\angle MS_1 a = \varrho$ ist der Brechungswinkel; $\sin \varrho = \frac{n_1}{n_2} \sin J$. Da $\frac{n_1}{n_2}$ für die von uns zu betrachtenden Mittel (Luft, Wasser, Glas, Crystall-Linse u. s. w.) zwischen $\frac{2}{3}$ und $\frac{3}{2}$ liegt, so ist auch ϱ ein sehr kleiner Winkel.

Jetzt erwächst uns die Aufgabe, aus den gegebenen Grössen des Systems (R, n_1 und n_2) und des Lichtpunktabstandes ($AS = f_1$) die unbekannte Grösse ($Sa = f_2$) zu bestimmen.

Lösung. Wir fällen das Loth $S_1 D = l$ auf die Hauptachse und berücksichtigen, dass D unendlich nahe an S liegt.

$$\left.\begin{array}{l} 1)\ n_1 J = n_2 \varrho. \text{ (Vereinfachtes Brechungsgesetz.)} \\ 2)\ J = \alpha + \beta. \\ 3)\ \alpha = \varrho + \gamma;\ \text{also } \varrho = \alpha - \gamma \end{array}\right\} \text{(Euklid, I, 32)}^2)$$

$$4)\ n_1 (\alpha + \beta) = n_2 (\alpha - \gamma).$$

$$\left.\begin{array}{l} 5)\ \alpha = \frac{l}{R} \\ 6)\ \beta = \frac{l}{f_1} \\ 7)\ \gamma = \frac{l}{f_2} \end{array}\right\} \text{(Defin., II.)}$$

$$8)\ n_1 \left(\frac{l}{R} + \frac{l}{f_1}\right) = n_2 \left(\frac{l}{R} - \frac{l}{f_2}\right).$$

$$9)\ \frac{n_1}{R} + \frac{n_1}{f_1} = \frac{n_2}{R} - \frac{n_2}{f_2}.$$

$$\text{I)}\ \frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{R}.$$

1) In der Einfallsebene muss er bleiben. (Definit. I). Wird der gebrochene Strahl der Hauptachse parallel, so liegt a unendlich weit von S.

2) Ausg. von Hartwig, Halle, 1860, S. 12.

Der Aussenwinkel eines Dreiecks ist gleich der Summe der beiden inneren, ihm gegenüberliegenden Winkel.

Durch die Gleichung I ist f_2 eindeutig bestimmt aus n_1, n_2, R und f_1.

§ 2. Gl. I, § 1 kann auch geschrieben werden

$$\text{Ia)}\quad \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{R} - \frac{n_1}{f_1} \quad \text{oder}$$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{n_2}\left(\frac{(n_2 - n_1)}{R} - \frac{n_1}{f_1}\right).$$

Für dasselbe System (n_1, n_2, R) und denselben Abstand (f_1) des Lichtpunkts in der Hauptachse giebt es nur einen bestimmten Werth von f_2.

Die Lage des Punktes a hängt, unter den gemachten Voraussetzungen, nicht ab von der Lage des Einfallspunktes S_1. also nicht von der Grösse l, die sich fortgehoben hat; sondern lediglich von dem Lichtpunktsabstand f_1. Alle von A ausfahrenden und zwischen S_1 und S (und ebenso zwischen S und S_2), kurz alle von A auf das kleine Kreisbogenstück $S_1 S S_2$ auffallenden Strahlen schneiden nach der Brechung die Hauptachse in dem nämlichen Punkt a; sie vereinigen sich in diesem Punkte, welcher also den Bildpunkt von A darstellt.

Was für die Ebene der Zeichnung bewiesen ist, gilt für jede durch A gelegte Ebene eines grössten Kreises der Kugel. Denken wir die Ebene der Zeichnung um die Hauptachse gedreht, so beschreibt die Figur $A S_1 S_2$ — mit allen zwischen S_1 und S_2 einfallenden Strahlen — einen soliden Kegel, welcher von A gegen das Kugelflächenstück hin divergirt.

Durch die Brechung an der Kugelfläche wird daraus ein nach a hin convergirender Kegel gebildet.

Unser Simplum ist lichtsammelnd (collectiv).

Da in jedem zusammengehörigen Strahlenpaar der einfallende und der gebrochene Strahl ihre Rollen tauschen können; so muss. wenn a einen Lichtpunkt darstellt, A das Bild desselben sein. (Dieser Strahlengang ist durch den unteren Pfeil gekennzeichnet.)

A und a sind für die gegebene Kugelfläche ein Paar zu-
conjugirter. sammengehöriger[a] Bildpunkte.

Für den zweiten Fall des Strahlenganges, wo a Lichtpunkt. schreiben wir Gleichung Ia.)

$$\frac{n_2}{f_2} + \frac{n_1}{f_1} = \frac{n_2 - n_1}{R}.$$

$$n_2 - n_1 = -(n_1 - n_2).$$

$$\text{Ib)}\quad \frac{n_2}{f_2} + \frac{n_1}{f_1} = \frac{n_1 - n_2}{-R}.$$

Ib) ist jetzt symmetrisch mit Ia: d. h. rechter Hand steht im Zähler des Bruchs voran die Brechungszahl desjenigen Mittels, in welches der gebrochene Strahl eindringt.

Also ist der Halbmesser R jetzt negativ zu setzen, wenn die Kugel dem einfallenden Lichtstrahl ihre Hohlfläche[a)] zukehrt.

a) Conca

§. 3. Gl. I, § 1 ist die erste Form der Scheitelgleichung der zusammengehörigen Bildabstände für eine einzelne Kugelfläche.

Die veränderlichen Grössen f_1 und f_2 sind vom Scheitel S ab gerechnet; und zwar im Hauptfall f_1 positiv, wenn der Lichtpunkt A im Sinne der Lichtbewegung vor S liegt; und f_2 positiv, wenn der Bildpunkt a im Sinne der Lichtbewegung hinter S liegt.

Eine wesentliche Vereinfachung erwächst uns aus der Einführung der Hauptbrennpunkte.

Betrachten wir den Fall, dass f_1 unendlich gross gegen R; dass also für unsere Messungen

$$f_1 + R = f_1 - R = f_1.$$

Dann wird

$$\frac{f_1}{R} = \infty, \quad \frac{R}{f_1} = 0.\,^{1})$$

Denjenigen Werth von f_2, der zu $f_1 = \infty$ gehört, bezeichnen wir mit F_2. Dann wird aus Gl. I, § 1

$$1)\quad \frac{n_1}{\infty} + \frac{n_2}{F_2} = \frac{n_2 - n_1}{R}.$$

$$\frac{n_1}{\infty} = 0.$$

$$2)\quad \frac{n_2}{F_2} = \frac{n_2 - n_1}{R}, \text{ oder}$$

$$\text{II}\quad F_2 = \frac{n_2 R}{n_2 - n_1}, \text{ oder}$$

$$3)\quad n_2 = \frac{n_2 - n_1 \cdot F_2}{R}, \text{ oder}$$

$$4)\quad \frac{R}{F_2} = \frac{n_2 - n_1}{n_2}.$$

---

1) Sei z. B. $f_1 = 100$ Meter, $R = 0{,}01$ Meter; so können wir mit dem Meterstab die Strecke von 100 Metern nicht bis auf 10 Mm. genau ausmessen.

R ist stets eine endliche Grösse. Denn $R = \infty$ bedeutet nicht eine Kugelfläche, sondern eine Ebene.

Denken wir A auf der Hauptachse so weit von S abgerückt, dass $f_1 = \infty$ gegen R; so wird das von A auf die kleine Oeffnung der Kugelfläche einfallende Strahlenbündel parallel der Hauptachse, da

$$\angle \beta = \frac{l}{f_1} = \frac{l}{\infty} = 0,$$

d. h. unmessbar klein wird.

Der Punkt B_2 (Fig. 77), in welchem das der Hauptachse parallele,

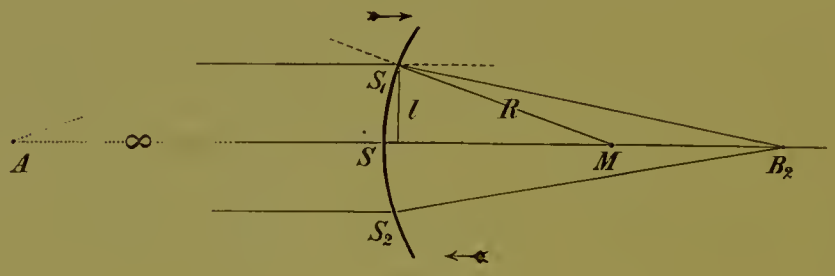

Fig. 77.

auf $S_1 S_2$ einfallende Strahlenbündel durch die Brechung vereinigt wird, heisst der zweite Hauptbrennpunkt des Simplum. Für unseren Hauptfall liegt er im zweiten Mittel.

$$SB_2 = F_2 = \frac{n_2 R}{n_2 - n_1}.$$

peri-axialen. B_2 ist der Vereinigungspunkt eines achsennahen,[a] der Hauptachse parallelen Strahlenbündels.

Aus der Umkehrbarkeit des Strahlenganges folgt, dass, wenn von B_2 ein schmales Strahlenbündel ausgeht und auf die Trennungsfläche $S_1 S_2$ auffällt, dasselbe nach der Brechung als ein der Hauptachse paralleles Strahlenbündel im ersten Mittel weiter zieht.

Jeder achsennahe Strahl, welcher im ersten Mittel der Hauptachse parallel zieht, geht im zweiten Mittel durch B_2.

Jeder achsennahe Strahl, welcher im zweiten Mittel durch B_2 zieht, ist im ersten Mittel der Hauptsache parallel.

Setzen wir nunmehr $f_2 = +\infty$ gegen R und bezeichnen das zu diesem Werth von f_2 gehörige f_1 mit F_1; so folgt aus Gl. I, § 1

$$5) \quad \frac{n_1}{F_1} + \frac{n_2}{\infty} = \frac{n_2 - n_1}{R}, \text{ oder}$$

$$\text{III)} \quad F_1 = \frac{n_1 R}{n_2 - n_1}, \text{ oder}$$

$$6) \quad n_1 = \frac{n_2 - n_1}{R} \cdot F_1, \text{ oder}$$

$$7)\quad \frac{R}{F_1} = \frac{n_2 - n_1}{n_1}\ .$$

Ist f_2 unendlich gross gegen R, so ist das von a auf die Hohlkugelfläche $S_1 S_2$ fallende Strahlenbündel der Hauptachse parallel und geht nach der Brechung durch den Punkt B_1 der Hauptachse (Fig. 78),

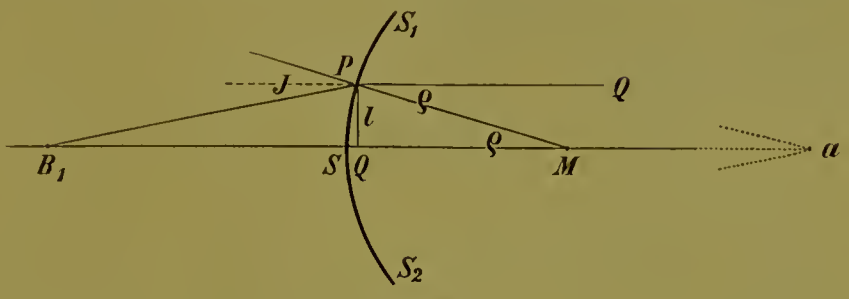

Fig. 78.

welcher als erster Hauptbrennpunkt bezeichnet wird und für unseren Hauptfall im ersten Mittel liegt.

Seine Entfernung ist bestimmt durch

$$B_1 S = F_1 = \frac{n_1 R}{n_2 - n_1} \quad \text{(III)}.$$

Ein von B_1 ausgehender, achsennaher Strahl ist im zweiten Mittel der Hauptachse parallel. Ein im zweiten Mittel der Hauptachse paralleler Strahl geht im ersten Mittel durch B_1.

Die in B_1 und B_2 senkrecht zur Hauptachse errichteten Ebenen heissen die erste, bezw. zweite Hauptbrennpunktsebene.

§ 4. Jetzt vermögen wir, mit Hilfe der Werthe für die beiden Hauptbrennweiten, der Scheitelgleichung eine bequemere Gestalt zu geben.

$$1)\quad \frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{R}\ \cdot \text{(Gl. I, § 1).}$$

$$2)\quad n_1 = \frac{n_2 - n_1 \cdot F_1}{R} \text{ (Gl. 6, § 3).}$$

$$3)\quad n_2 = \frac{n_2 - n_1 \cdot F_2}{R} \text{ (Gl. 3, § 3).}$$

$$4)\quad \left(\frac{n_2 - n_1}{R}\right) \cdot \frac{F_1}{f_1} + \left(\frac{n_2 - n_1}{R}\right) \cdot \frac{F_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{R}\ .$$

$$\text{IV)}\quad \frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1.$$

Dies ist die zweite Form der Scheitelgleichung.

Aus IV folgt

$$5)\quad \frac{F_2}{f_2} = 1 - \frac{F_1}{f_1} = \frac{f_1 - F_1}{f_1}\ .$$

$$6)\quad \frac{1}{f_2} = \frac{f_1 - F_1}{f_1 F_2},\ \text{oder}$$

$$\text{IV a)}\quad f_2 = \frac{f_1 F_2}{f_1 - F_1}\ .$$

Aus IV folgt auch

$$7)\quad \frac{F_1}{f_1} = 1 - \frac{F_2}{f_2},\ \text{oder}$$

$$\text{IV b)}\quad f_1 = \frac{f_2 F_1}{f_2 - F_2}\ .$$

Gleichung IVa und IVb dienen dazu, aus den constanten Grössen des Systems (F_1 und F_2, die ja nur von n_1, n_2 und R abhängen,) sowie aus einer der beiden zusammengehörigen Vereinigungsweiten die andere bequem zu berechnen.

§ 5. 1) $F_1 = \dfrac{n_1 R}{n_2 - n_1}$. (Gl. III, § 3).

2) $F_2 = \dfrac{n_2 R}{n_2 - n_1}$. (Gl. II, § 3).

Dividirt man Gl. 2 in Gl. 1, so folgt

$$\text{V.}\quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Die beiden Hauptbrennweiten verhalten sich zu einander wie die entsprechenden Brechungszahlen.[1])

Subtrahirt man Gl. 1 von Gl. 2, so folgt

$$3)\quad F_2 - F_1 = \frac{n_2 R}{n_2 - n_1} - \frac{n_1 R}{n_2 - n_1} = \frac{(n_2 - n_1) R}{(n_2 - n_1)}.$$

$$\text{VI.}\quad F_2 - F_1 = R.$$

Der Unterschied der ersten Hauptbrennweite von der zweiten ist gleich dem Krümmungshalbmesser.

$$SB_2 - SB_1 = SM.$$

1) Bei dem wirklichen Simplum ist niemals $F_1 = F_2$: sonst wäre

$$n_1 = n_2,$$
$$n_1\ i = n_2\ r,$$
$$i = r;$$

d. h. jeder Einfallswinkel gleich seinem Brechungswinkel, jeder Strahl unabgelenkt. Sind beide Mittel optisch gleich, so findet keine Lichtbrechung statt. Davon werden wir bei Betrachtung des Auges Gebrauch machen.

§ 6. Hauptbrennpunktsgleichung.

Wir setzen $AB_1 = \varphi_1$ und $B_2 a = \varphi_2$. (Fig. 79.)

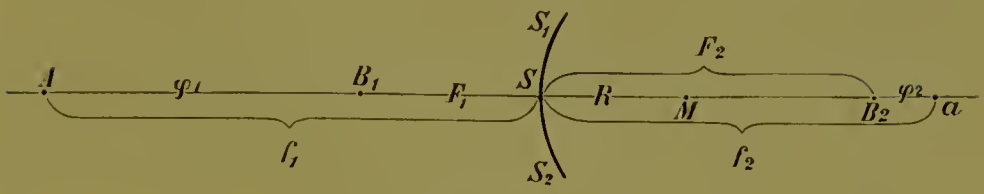

Fig. 79.

1) $AB_1 = AS - B_1S$ oder $\varphi_1 = f_1 - F_1$, folglich $f_1 = \varphi_1 + F_1$.
2) $B_2a = Sa - SB_2$ oder $\varphi_2 = f_2 - F_2$, folglich $f_2 = \varphi_2 + F_2$.

Wenn wir in Gl. IVa des § 4

$f_2 = \dfrac{f_1 F_2}{f_1 - F_1}$ die obigen Werthe von f_1 und f_2 einsetzen, so folgt:

3) $\varphi_2 + F_2 = \dfrac{(\varphi_1 + F_1) F_2}{\varphi_1}$

4) $\varphi_1 \varphi_2 + \varphi_1 F_2 = \varphi_1 F_2 + F_1 F_2$, oder

VII. $\varphi_1 \varphi_2 = F_1 F_2$ oder $\dfrac{\varphi_1 \varphi_2}{F_1 F_2} = 1$ oder $\dfrac{\varphi_1}{F_1} = \dfrac{F_2}{\varphi_2}$.

VIIa. $\varphi_2 = \dfrac{F_1 F_2}{\varphi_1}$;

VIIb. $\varphi_1 = \dfrac{F_1 F_2}{\varphi_2}$.

Sind F_1 und F_2 bekannt, und wird der Lichtpunkt A auf der Hauptachse gegeben durch seine Entfernung φ_1 vom ersten Hauptbrennpunkt B_1; so ist durch Gl. VIIa der zugehörige Bildpunkt auf derselben Hauptachse bestimmt durch seine Entfernung φ_2 vom zweiten Hauptbrennpunkt B_2.

§ 7. Mittelpunktsgleichung.

Man kann auch die Entfernungen der Punkte A und a, sowie B_1 und B_2 vom Mittelpunkt M ab bemessen.

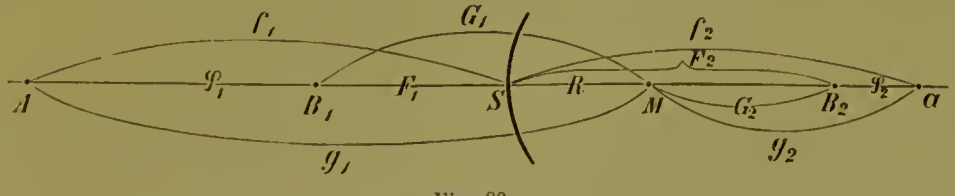

Fig. 80.

Wir wollen $B_1 M$ mit G_1, $M B_2$ mit G_2, $A M$ mit g_1, $M a$ mit g_2 bezeichnen.

1) $B_1 M = G_1 = F_1 + R = F_2$. (Gl. VI, § 5).
2) $M B_2 = G_2 = F_2 - R = F_1$.
3) $A M = g_1 = \varphi_1 + G_1 = \varphi_1 + F_2$; also $\varphi_1 = g_1 - G_1$.
4) $a M = g_2 = \varphi_2 + G_2 = \varphi_2 + F_1$; also $\varphi_2 = g_2 - G_2$.

Setzen wir in Gl. VII, § 6 jetzt die obigen Werthe ein; so folgt

5) $(g_1 - G_1)(g_2 - G_2) = G_1 G_2$.
6) $g_1 g_2 - g_2 G_1 - g_1 G_2 + G_1 G_2 = G_1 G_2$
7) $g_2 G_1 + g_1 G_2 = g_1 g_2$. Dividirt man durch $g_1 g_2$, so folgt

VIII. $\frac{G_1}{g_1} + \frac{G_2}{g_2} = 1$; also VIII a) $g_2 = \frac{g_1 G_2}{g_1 - G_1}$.

Gl. IV, § 4 und Gl. VIII, § 7 sind nur 2 besondere Fälle eines allgemeinen Gesetzes.[1])

§ 8. Die zusammengehörigen Bildgrössen.

A sei ein Lichtpunkt, a sein Bild. (Fig. 81.) Wenn neben A, in gleicher Entfernung von M, noch ein zweiter Lichtpunkt C vor-

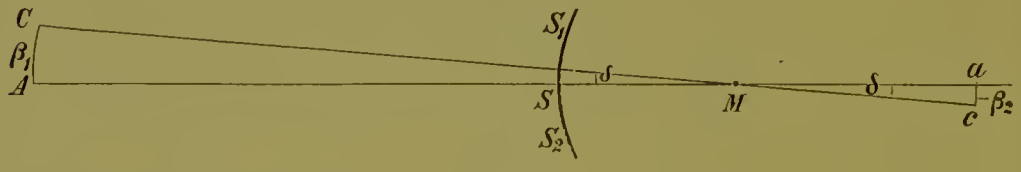

Fig. 81.

handen ist, dessen Strahlen alle nahezu senkrecht auf das kleine Kugelflächenstück $S_1 S_2$ auffallen; so liegt sein Bildpunkt c auf der Achse MC, ebenso weit von M entfernt, wie a. (§ 2).

Alle Lichtpunkte zwischen A und C haben ihre Bildpunkte zwischen a und c. Gegenstand (CA) und Bild (ac) sind geometrisch ähnlich oder perspectivisch zu einander in Bezug auf den Krümmungsmittelpunkt. Wir bezeichnen die Grösse des Gegenstandes mit β_1, die des Bildes mit $-\beta_2$. (Das Minuszeichen bedeutet die entgegengesetzte Lage zur Hauptachse.) $\angle CMA = \angle aMc = \delta$ als Scheitelwinkel; δ soll ein sehr kleiner Winkel sein.

$$\frac{AC}{AM} = \frac{ac}{aM}, \text{ oder IX. } \frac{\beta_1}{-\beta_2} = \frac{g_1}{g_2}.$$

1) Man erhält Gleichungen von der Form IV (oder VIII), wenn man die Entfernung des Lichtpunktes rechnet von einem beliebigen Achsenpunkt K und die Entfernung des Bildes von dem zu K conjugirten Punkt k.

AC und ac sind also sehr kleine Bögen; man kann sie als gerade Linien behandeln, die auf Aa senkrecht stehen.

Ein kleiner ebener Gegenstand, der bei A senkrecht auf der Hauptachse steht, hat bei a sein ebenes Bild, gleichfalls senkrecht zur Hauptachse.

Ist AS unendlich gross gegen R, so rückt a in den zweiten Brennpunkt und c in einen sehr nahe an B_2 gelegenen Punkt der zweiten Brennpunktsebene. Das von C ausfahrende, der Nebenachse CM parallele Strahlenbündel vereinigt sich in dem Punkt der Nebenachse, in welchem diese die zweite Hauptbrennebene schneidet.

Eine gleiche Betrachtung gilt für den kleinen Theil der ersten Hauptbrennebene, der nahe um B_1 belegen ist. Wenn aS unendlich gross gegen R, so wird das von c ausfahrende, der Nebenachse cM parallele Strahlenbündel in demjenigen Punkt C der 1. Hauptbrennebene vereinigt, in welchem dieselbe von der Nebenachse cM geschnitten wird.

§ 9. Die Hauptbrennpunktsgleichung der zusammengehörigen Bildgrössen.

1) $\dfrac{\beta_1}{-\beta_2} = \dfrac{g_1}{g_2}$ (Gl. IX, § 8) $= \dfrac{\varphi_1 + F_2}{\varphi_2 + F_1}$. (Gl. 3 u. 4, § 7; Fig. 82)

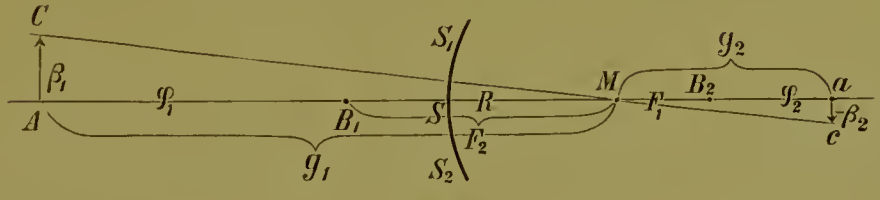

Fig. 82.

2) $\varphi_2 = \dfrac{F_1 F_2}{\varphi_1}$. (Gl. VIIa, § 6).

3) $\dfrac{\beta_1}{-\beta_2} = \dfrac{\varphi_1 + F_2}{\left(\dfrac{F_1 F_2}{\varphi_1}\right) + F_1} = \dfrac{\varphi_1(\varphi_1 + F_2)}{F_1 F_2 + F_1 \varphi_1} = \dfrac{\varphi_1(\varphi_1 + F_2)}{F_1(\varphi_1 + F_2)}$.

3 a) $\dfrac{\beta_1}{-\beta_2} = \dfrac{\varphi_1}{F_1}$.

4) $\dfrac{\varphi_1}{F_1} = \dfrac{F_2}{\varphi_2}$. (Gl. VII, § 6).

X. $-\dfrac{\beta_1}{\beta_2} = \dfrac{\varphi_1}{F_1} = \dfrac{F_2}{\varphi_2}$.

Dies ist die kürzeste und bequemste Regel, da sie das Verhältniss der zusammengehörigen Bild-Fernen und Grössen auf das einfachste bestimmt.

§ 10. Scheitelgleichung der zusammengehörigen Bildgrössen.

1) $\varphi_1 = f_1 - F_1$. (Gl. 1, § 6.)

2) $\varphi_2 = f_2 - F_2$. (Gl. 2, § 6.)

3) $\frac{\beta_1}{-\beta_2} = \frac{\varphi_1}{F_1} = \frac{F_2}{\varphi_2}$. (Gl. X, § 9.)

XI. $\frac{\beta_1}{-\beta_2} = \frac{f_1 - F_1}{F_1} = \frac{F_2}{f_2 - F_2}$.

§ 10a. Zusatz. Der Fall $R = \infty$ giebt die Brechung an einer ebenen Trennungsfläche zwischen zwei durchsichtigen Mitteln.

Aus Gl. I, § 1 wird $\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = 0$ oder $f_2 = -\frac{n_2}{n_1} f_1$.

Das Bild liegt auf derselben Seite der brechenden Ebene, wie der Gegenstand, aber in anderer Entfernung. Ein in Luft befindliches Auge sieht einen kleinen im Wasser befindlichen Gegenstand (mit nahezu senkrechten Strahlen) in $^3/_4$ seiner wirklichen Tiefe; das Bild hat an dieser Stelle die Grösse des Gegenstandes.

(Aus $\frac{\beta_1}{-\beta_2} = \frac{f_1 - F_1}{F_1}$ (Gl. IX, § 10) wird, für $F_1 = \infty$,

$\frac{\beta_1}{-\beta_2} = \frac{f_1}{F_1} - \frac{1}{1} = -1$, also $\beta_1 = \beta_2$.)

Bei schrägem Einfall des Lichts auf die Trennungsebene tritt eine merkliche Verschiebung des Lichtpunkts ein. Ist A das Auge eines Menschen in Luft, F das eines Fisches unter Wasser (Fig. 74); so sieht ersteres das letztere in der Verlängerung der Graden AB über B hinaus, und letzteres sieht das erstere in der Verlängerung der Graden FB über B hinaus.

§ 11. Construction des Bildes.

I. AA_1 sei der Gegenstand, senkrecht zur Hauptachse. (Fig. 83). Wir ziehen von A_1 zwei Strahlen:

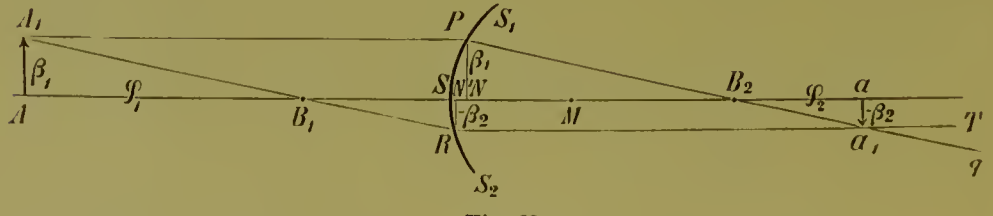

Fig. 83.

1) $A_1 P$, welcher der Hauptachse parallel einfällt, geht nach der Brechung durch B_2, in Richtung Pq. (§ 3.)

2) $A_1 R$ geht vor der Brechung durch B_1, nach der Brechung parallel zur Hauptachse, in Richtung RT. (§ 3.)

Die beiden gebrochenen Strahlen Pq und RT schneiden sich in a_1; in demselben Punkt müssen sich alle von A_1 ausgehenden Strahlen, die auf $S_1 S_2$ fallen, wieder vereinigen: a_1 ist das Bild von A_1.

Fällen wir ein Loth $a_1 a$ auf die Hauptachse, so ist a das Bild von A, da auch $A_1 A$ senkrecht zu AM. Wir fällen ferner die Lothe PN und RN_1 auf die Hauptachse.

$$PN \# AA_1 = \beta_1$$
$$RN^1 \# aa_1 = -\beta_2.$$
$$\triangle AA_1 B_1 \sim \triangle N^1 R B_1, \text{ also } \frac{\beta_1}{-\beta_2} = \frac{\varphi_1}{F_1}.$$
$$\triangle PNB_2 \sim \triangle aa_1 B_2, \text{ also } \frac{\beta_1}{-\beta_2} = \frac{F_2}{\varphi_2}.$$

II. AP sei ein beliebiger, einfallender Strahl. (Fig. 83a.)

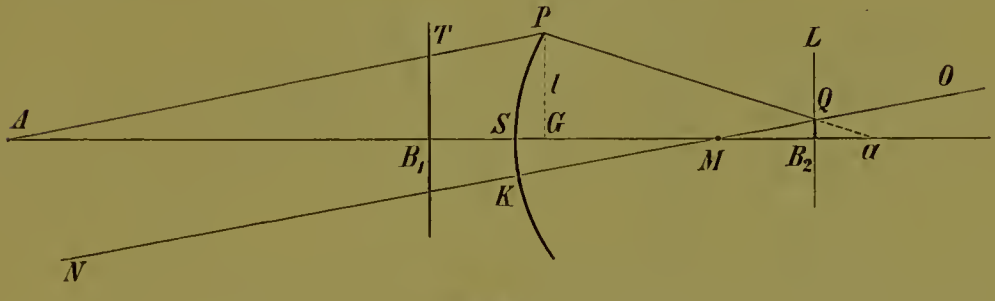

Fig. 83a.

Um den dazu gehörigen, gebrochenen zu finden, ziehe man durch M die grade Linie $NO \# AP$. Sie schneide die 2. Hauptbrennebene $B_2 L$ in Q: dann ist PQ der gebrochene Strahl.

Beweis: Das parallel einfallende Strahlenbündel $APNK$ vereinigt sich in einem Punkt der 2. Hauptbrennebene (§ 8), und zwar in Q, da der Strahl NM, der lothrecht auf die Kugelfläche einfällt, nicht abgelenkt wird.

$$B_2 Q = x, \quad PG = l.$$

Steht in A ein Gegenstand, so liegt in a sein Bild.

$$\frac{x}{l} = \frac{f_2 - F_2}{f_2}; \; f_2 - F_2 = \frac{f_2 F_1}{f_1}. \quad \text{(Gl. IVb, § 4).}$$
$$x = \frac{l F_1}{f_1}.$$

§ 12. Beziehungen zwischen $\frac{f_1}{f_2}$, $\frac{g_1}{g_2}$, $\frac{\varphi_1}{\varphi_2}$.

1) $$\frac{f_1}{f_2} = \frac{F_1}{f_2 - F_2}. \quad \text{(Gl. IVb, § 4.)}$$

2) $\frac{\beta_1}{-\beta_2} = \frac{F_2}{f_2 - F_2}$. (Gl. XI, § 10.)

Dividirt man Gl. 2 in 1, so folgt

3) $-\frac{f_1}{f_2} \cdot \frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{n_1}{n_2}$. (Gl. V, § 5).

4) $\frac{n_2 \cdot f_1}{n_1 \cdot f_2} = -\frac{\beta_1}{\beta_2}$.

5) $\frac{g_1}{g_2} = -\frac{\beta_1}{\beta_2}$. (Gl. IX, § 8).

XII a. $\frac{g_1}{g_2} = \frac{n_2 f_1}{n_1 f_2}$ oder $\frac{f_1}{f_2} = \frac{n_1 g_1}{n_2 g_2}$.

Ferner ist 6) $\frac{\beta_1}{-\beta_2} = \frac{\varphi_1}{F_1}$

7) $-\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{F_2}{\varphi_2}$ (Gl. X, § 9.)

Multiplicirt man Gl. 6 mit Gl. 7, so folgt

8) $\left(\frac{\beta_1}{\beta_2}\right)^2 = \frac{\varphi_1 F_2}{\varphi_2 F_1} = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} \cdot \frac{n_2}{n_1}$. (Gl. V, § 5.)

9) $\left(\frac{\beta_1}{\beta_2}\right)^2 = \left(\frac{g_1}{g_2}\right)^2$. (Gl. IX. § 8.)

10) $\left(\frac{g_1}{g_2}\right)^2 = \frac{n_2 \varphi_1}{n_1 \varphi_2}$ oder

XII b. $\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \left(\frac{g_1}{g_2}\right)^2$. Also, nach XII a.)

11) $\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{n_1}{n_2}\left(\frac{n_2 f_1}{n_1 f_2}\right)^2 = \frac{n_2}{n_1} \cdot \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2$.

XII c. $\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \left(\frac{g_1}{g_2}\right)^2 = \frac{n_2}{n_1} \cdot \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2$.

§ 13. Divergenzwinkel.

Der einfallende Strahl AP (Fig. 84) bildet mit der Hauptachse den Divergenzwinkel $PAM = \alpha_1$, der gebrochene Pa hat den

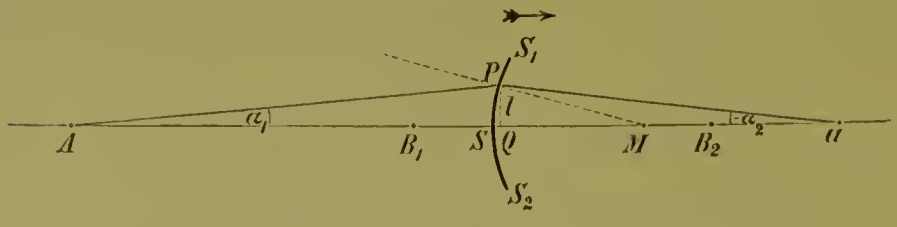

Fig. 84.

Divergenzwinkel $= -\alpha_2$. (Das Minuszeichen bedeutet die entgegengesetzte Lage zur Hauptachse.)

1) $\alpha_1 = \frac{l}{f_1}$.

2) $-\alpha_2 = \frac{l}{f_2}$.

3) $-\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{f_1}{f_2}$.

4) $-\frac{n_1 \beta_1}{n_2 \beta_2} = \frac{f_1}{f_2}$. (Folgt aus Gl. 4, § 12.)

5) $\frac{n_1 \beta_1}{n_2 \beta_2} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$, oder

XIII. $n_1 \alpha_1 \beta_1 = n_2 \alpha_2 \beta_2$.

Dies Gesetz von Lagrange,[1]) so unscheinbar es aussieht, wird von grosser Wichtigkeit für die Betrachtung zusammengesetzter Systeme.

§ 14. Wahl der Vorzeichen.

Unsere Gleichungen I bis XIII sind zwar von besonderen Fällen abgeleitet, aber sie gelten allgemein, da wir, ausser der Kleinheit der Einfallswinkel, keine beschränkenden Voraussetzungen gemacht haben.

Um aber die Formeln allgemein anwenden zu können, sind wir genöthigt, statt des positiven Vorzeichens jedesmal dann einer der in Betracht kommenden Grössen das negative zu geben, wenn sie, stetig abnehmend, kleiner als null geworden.

§ 15.[2]) A. Das Vorzeichen von n_1 und n_2.

Es ist $n_1 = \frac{c}{c_1}$ und $n_2 = \frac{c}{c_2}$, wo c die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes im leeren Raume, c_1 sowie c_2 die in den durchsichtigen Mitteln I und II bedeutet. (Defin., I.)

Die Grössen n_1 und n_2 sind stets positiv.[3])

1) 1778 und 1805, Berichte der königl. Akademie der Wissensch. zu Berlin. — Heath nennt es irrig das Gesetz von Helmholtz.

2) Bei der ersten Lesung können § 15—23 übergangen werden.

3) Negative Fortpflanzungsgeschwindigkeit, d. h. Umkehr des Lichtstrahls in seiner Bahn, kommt nicht vor bei der Brechung, wohl aber bei der Spiegelung. Die letztere kann man behandeln als eine Brechung, für welche $n_2 = -n_1$.

Aus dem Brechungsgesetz $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$
wird dann $n_1 \sin \alpha_1 = -n_1 \sin \alpha_2$.
oder $\alpha_1 = -\alpha_2$.

Das ist das Gesetz der Spiegelung.

§ 16. B. Das Vorzeichen von R.

Wir haben $SM = R$ positiv gerechnet, wenn das Kugelflächen-
Convexität. stück $S_1 S_2$ dem einfallenden Licht seine Wölbung[a] zukehrt (Fig. 85).

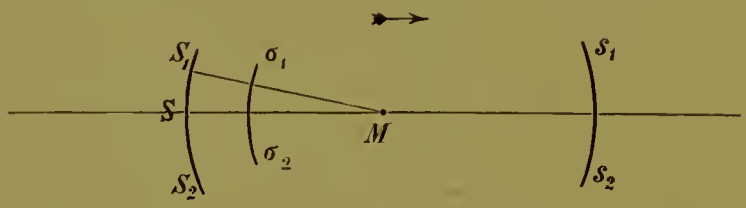

Fig. 85.

R nimmt ab, wenn S näher an M heranrückt, wenn also die kuglige Trennungsfläche aus der Lage $S_1 S_2$ in $\sigma_1 \sigma_2$ gelangt. R wird null, wenn S mit M zusammenfällt. Rückt S noch weiter in Richtung des
Concavität. Pfeiles fort, so wird R negativ. Die Strahlen fallen in die Höhlung[b] des Kugelstücks $s_1 s_2$.

Wird in diesem Fall R negativ gesetzt, so bleiben wir in Uebereinstimmung sowohl mit allgemein mathematischen Grundsätzen, als auch mit dem Brechungsgesetz. (§ 2, zu Ende.)

§ 17. C. Das Vorzeichen von F_1 und F_2.

α) Positive oder lichtsammelnde Systeme.

$F_1 = \frac{n_1 R}{n_2 - n_1}$ und $F_2 = \frac{n_2 R}{n_2 - n_1}$. (Gl. II und III, § 2). F_2 ist immer positiv, wenn es F_1 ist, da $\frac{F_1}{F_2} = \frac{n_2}{n_1}$ (vgl. § 15); und umgekehrt.

I. F_1 ist positiv, wenn sowohl R als auch $n_2 - n_1$ positiv: d. h., wenn einerseits die Wölbung der Kugelfläche dem einfallenden Lichtstrahl zugekehrt, andererseits das zweite Mittel optisch dichter ist. II. F_1 bleibt positiv, wenn gleichzeitig sowohl R als auch $(n_2 - n_1)$ negativ werden. Fall II bedeutet aber dasselbe System wie Fall I. nur mit umgekehrtem Strahlengang, d. h. wenn a Licht-, A Bild-Punkt. Alles zusammenfassend, können wir sagen: Die Kugelfläche wirkt positiv, wenn ihre Wölbung dem dünneren Mittel zugekehrt ist. Durch die Brechung an einer positiven Kugelfläche wird der einfallende Strahl AP gegen die Achse zu, in Richtung Pa, abgelenkt. (Fig. 84.)

Das ganze von A ausfahrende Bündel wird in a vereinigt oder gesammelt. Deshalb heisst das positive System auch lichtsam-
Collectiv. melnd[c]. Ebenso wird das von a ausfahrende Bündel in A gesam-

melt. Die lichtsammelnde Beschaffenheit ist unabhängig von der Richtung des Lichteinfalls.

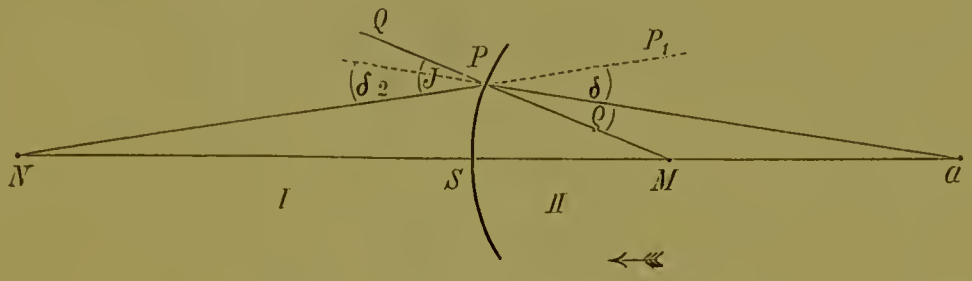

Fig. 86.

§ 18. Als Ablenkungswinkel δ wird der Winkel zwischen der Richtung des einfallenden Strahles NPP_1 und der des gebrochenen Strahles Pa bezeichnet; und positiv gerechnet im Hauptfall. (Fig. 86.)

$\angle NPQ = J$, Einfallswinkel,

MPQ, Einfallsloth,

$\angle MPa = \varrho$, Brechungswinkel.

1) $\delta = J - \varrho$ (Definition),

2) $\varrho = \frac{n_1 J}{n_2}$. (Brechungsgesetz; Gl. 1, § 1.)

3) $\delta = J - \frac{n_1 J}{n_2} = \frac{n_2 - n_1}{n_2} J.$

XIV a. $\frac{\delta}{J} = \frac{n_2 - n_1}{n_2} = \frac{R}{F_2}$. (Gl. 4, § 3).

Das Verhältniss des Ablenkungs- zum Einfallswinkel ist eine constante Grösse, welche nur von den Brechungszahlen des Systems abhängt.

4) $\delta = J - \varrho = \frac{n_2}{n_1}\varrho - \varrho = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_1}\right)\varrho.$

XIV b. $\frac{\delta}{\varrho} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} = \frac{R}{F_1}$. (Gl. 7, § 3).

§ 19. *β)* Negative oder lichtzerstreuende Systeme.

F_1 ist negativ (und also auch F_2), wenn die Höhlung der Kugelfläche dem optisch dünneren Mittel zugekehrt ist. (Vgl. § 17.)

Geometrisch bedeutet ein negatives F_2, dass im Sinne der Lichtbewegung B_2 vor S liegt. Es sei das erste Mittel dichter ($n_1 > n_2$, $n_2 - n_1$ negativ): AP (Fig. 87) ein beliebiger, der Hauptachse paralleler und naher Strahl. Derselbe wird bei P von dem Einfallsloth fort gebrochen, da II optisch dünner als I. Der gebrochene Strahl schneide, rückwärts verlängert, die Hauptachse in B_2; $B_2 S = F_2$.

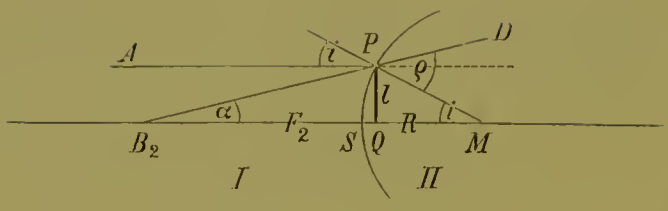

Fig. 87.

$$1)\ n_1 i = n_2 \varrho, \text{ also } \varrho = \frac{n_1}{n_2} i. \quad [\varrho > \alpha].$$

$$2)\ \varrho = i + \alpha \text{ oder } i - \varrho = -\alpha.$$

$$3)\ i - \frac{n_1}{n_2} i = -\alpha.$$

$$4)\ \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2}\right) i = -\alpha.$$

$$5)\ \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2}\right)\frac{l}{R} = -\frac{l}{F_2}.$$

$$\text{I.}\quad -F_2 = \frac{n_2 R}{n_2 - n_1}.$$

R ist hier positiv, aber $n_2 - n_1$ negativ. F_1 erhält man, wenn man R negativ setzt und n_1 mit n_2 vertauscht.

$$\text{II.}\quad -F_1 = \frac{-n_1 R}{n_1 - n_2} = \frac{n_1 R}{n_2 - n_1}.$$

Oder durch eine ähnliche Construction wie für F_2.

§ 20. Die Gleichungen der zusammengehörigen Bild-Fernen und Grössen für negative Systeme.

A. AA_1 sei der Gegenstand (Fig. 88). Der zur Hauptachse parallele Strahl AP geht nach der Brechung durch B_2, in Richtung PQ.

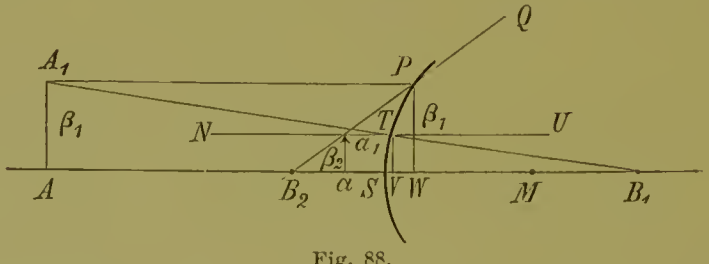

Fig. 88.

Der nach B_1 zielende Strahl $A_1 B_1$ ist nach der Brechung der Hauptachse parallel und zieht weiter in Richtung TU.

Die beiden gebrochenen Strahlen schneiden sich, rückwärts verlängert, in a_1, dem Bild von A_1. Fällt man Lothe von a_1, T, P auf

die Hauptachse und berücksichtigt, dass V und W ganz nahe an S fallen, so folgt

$$1)\quad \frac{AA_1}{TV} = \frac{AB_1}{SB_1} \text{ oder } \frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{\varphi_1}{F_1}.$$

$$2)\quad \frac{PW}{aa_1} = \frac{SB_2}{aB_2} \text{ oder } \frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{F_2}{\varphi_2}.$$

$$3)\quad \frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{\varphi_1}{F_1} = \frac{F_2}{\varphi_2}.$$

$$\text{und } 4)\quad \varphi_1 \varphi_2 = F_1 F_2.$$

Gleichung 3 entsteht aus der für positive Systeme, (Gl. X, § 9), wenn F_1 und F_2 negativ gesetzt werden. Für negative Systeme ist das Bild aufrecht, wenn φ_1 positiv, d. h. der Gegenstand vor B_1 belegen. Gleichung 4 ist identisch[1]) mit der für positive Systeme (Gl. VII, § 6) und darum von allgemeinster und bequemster Anwendung.

B. AA_1 sei der Gegenstand, aa_1 sein Bild. (Fig. 89). Da der

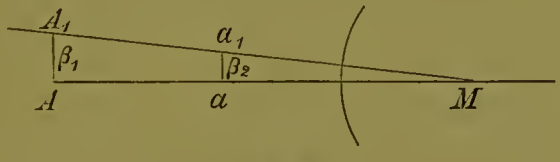

Fig. 89.

Strahl $A_1 M$, der lothrecht einfällt, nicht abgelenkt wird, so geht er auch durch den Bildpunkt a_1. Folglich ist

$$5)\quad \frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{g_1}{g_2}.$$

Diese Gleichung folgt aus der entsprechenden für positive Systeme (Gl. IX, § 8), wenn g_2 negativ gesetzt wird.

C. In Fig. 88 ist

$$6)\quad AS = f_1 = AB_1 - SB_1 = \varphi_1 - F_1;\ \text{oder } \varphi_1 = f_1 + F_1.$$

$$7)\quad aS = f_2 = B_2 S - B_2 a = F_2 - \varphi_2;\ \text{oder } \varphi_2 = F_2 - f_2.$$

Nach Gl. 3 dieses § ist also

$$8)\quad \frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{f_1 + F_1}{F_1} = \frac{F_2}{F_2 - f_2}.$$

1) Natürlich ist auch für negative Systeme das Product $F_1 \times F_2$ positiv, da minus × minus = plus.

$F_1 F_2$ ist immer positv, denn es ist gleich

$$\frac{n_1 n_2 r^2}{(n_2 - n_1)^2}.$$

Aus den beiden letzten Gliedern dieser Doppelgleichung ergiebt sich

$$F_2 - f_2 = \frac{F_1 F_2}{f_1 + F_1} \text{ oder}$$

$$9) \quad -f_2 = \frac{-f_1 F_2}{(f_1 + F_1)}.$$

Diese Gleichung folgt aus der entsprechenden (Gl. IVa, § 4; $f_2 = \frac{f_1 F_2}{f_1 - F_1}$) für positive Systeme, wenn F_1 und F_2 jetzt negativ gesetzt werden. Also wird f_2 negativ für positive f_1, in negativen Systemen.

$$10) \quad \frac{f_1}{f_2} = \frac{f_1 + F_1}{F_2}. \quad \text{(Nach Gl. 9 dieses §.)}$$

$$11) \quad \frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{f_1 + F_1}{F_1}. \quad \text{(Nach Gl. 8 dieses §.)}$$

$$12) \quad \frac{f_1 \cdot \beta_2}{f_2 \cdot \beta_2} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{n_1}{n_2} \text{ oder}$$

$$13) \quad \frac{f_1}{f_2} = \frac{n_1 \beta_1}{n_2 \beta_2}.$$

§ 21. Ablenkungs- und Divergenzwinkel in negativen Systemen.

A. $\delta = J - \varrho$ wird negativ (Fig. 89a), da ϱ (im 2., dünneren Mittel) grösser, als J. Der Strahl wird durch die Brechung von der

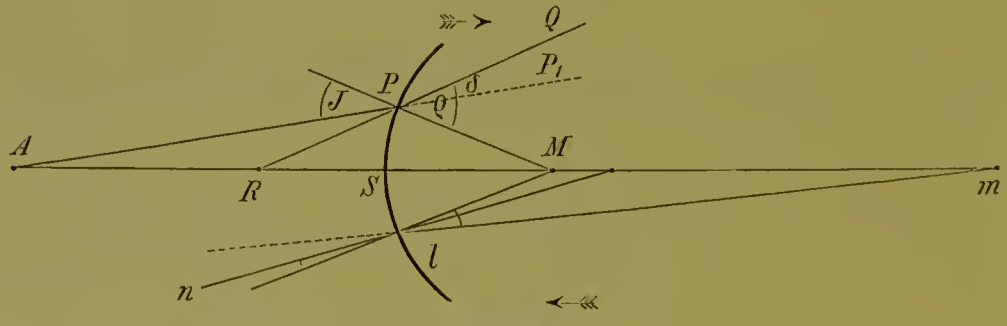

Fig. 89a.

Achse entfernt. AP geht weiter in Richtung PQ. Der divergent einfallende Strahlenkegel wird durch die Brechung stärker divergent. Ebenso wird bei der umgekehrten Richtung des Strahlenganges ein convergent auffallendes Strahlenbündel ($Q\,P\,M\,S$) durch die Brechung weniger convergent; es vereinigt sich nicht schon in R, sondern erst in A.

B. In negativen Systemen haben die zusammengehörigen Divergenzwinkel die gleiche Lage gegen die Hauptachse

$$AS = f_1\,;\ aS = f_2.\ \text{(Fig. 90.)}$$

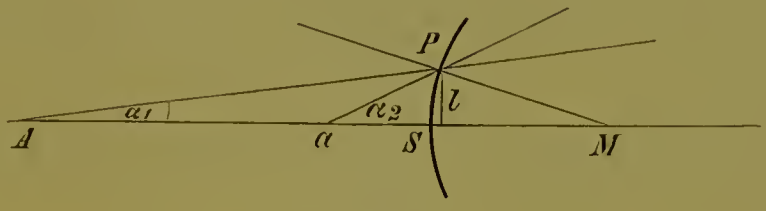

Fig. 90.

$$1)\ \frac{l}{f_1} = \text{tang. } \alpha_1 = \alpha_1.$$

$$2)\ \frac{l}{f_2} = \text{tang. } \alpha_2 = \alpha_2.$$

Dividirt man Gleichung 1 in 2, so folgt

$$3)\ \frac{f_1}{f_2} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}.$$

$$4)\ \frac{f_1}{f_2} = \frac{\beta_1}{\beta_2} \cdot \frac{n_1}{n_2}.\ \text{(Gl. 13, § 20.)}$$

$$5)\ \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{\beta_1 \cdot n_1}{\beta_2 \cdot n_2}.$$

6) $n_1 \alpha_1 \beta_1 = n_2 \alpha_2 \beta_2$: genau so wie für positive Systeme. Wir können also die Gleichung von Lagrange für jedes Simplum anwenden.

§ 22. Die Vorzeichen von f_1 und f_2, g_1 und g_2, φ_1 und φ_2.

$f_1 = AS$ wurde positiv gerechnet, wenn im Gange der vom ersten Mittel her einfallenden Lichtstrahlen A vor S liegt; f_1 nimmt ab, wenn A näher an S heranrückt und wird null, wenn A mit S zusammenfällt. Im letzteren Fall wird auch $f_2 = 0$, denn

$$f_2 = \frac{f_1 F_2}{f_1 - F_1}.$$

In S fallen Gegenstand und Bild zusammen[a]; von S aus dringen Strahlen nach beiden Mitteln ungebrochen vor, — allerdings mit verschiedener Fortpflanzungsgeschwindigkeit.

a) Ers
Symptos

Rückt A in gleichem Sinne weiter, d. h. noch über S hinaus: so wird $f_1 < 0$, d. h. negativ. Wenn A in M liegt, ist $f_1 = -R$, d. h. $= -(F_2 - F_1)$; also wird $f_2 = +R$.

a) Zweite Symptose.

Auch in M fällt Licht- und Bild-Punkt zusammen[a]; alle von M ausfahrenden Strahlen fallen lothrecht auf die Kugelfläche und gehen ungebrochen in das andere Mittel über.

$f_2 = Sa$ wurde positiv gesetzt, wenn im Sinne der aus dem ersten in's zweite Mittel vordringenden Strahlen a hinter S liegt; f_2 wird null, wenn a mit S zusammenfällt, und negativ, wenn a in's erste Mittel hineinrückt.

Ebenso wie f_1 ist g_1 und φ_1 zu behandeln, nur dass M für g_1 und B_1 für φ_1 den Nullpunkt darstellt.

§ 23. Discussion der Hauptbrennpunktsgleichungen.

Gegeben seien F_1 und F_2, die Constanten des Systems, und ferner Entfernung und Grösse des Gegenstands (φ_1 und β_1): gesucht sind Entfernung und Grösse des Bildes (φ_2 und β_2).

Es gelten die Gleichungen

$$\varphi_1 \varphi_2 = F_1 F_2 \text{ oder } \varphi_2 = \frac{F_1 F_2}{\varphi_1}. \text{ (Gl. VII u. VIIa, § 6).}$$

$$-\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{\varphi_1}{F_1} = \frac{F_2}{\varphi_2}. \text{ (Gl. X, § 9).}$$

$-\frac{\beta_1}{\beta_2}$ ist das eigentliche, $-\frac{\beta_2}{\beta_1}$ das umgekehrte Bildgrössenverhältniss.

Während φ_1 von $+\infty$ bis 0 und von 0 bis $-\infty$ verändert wird, nimmt erstlich φ_2 jeden Werth an von 0 bis $+\infty$ und von $-\infty$ bis 0, aber jeden Werth nur einmal, d. h. für ein bestimmtes φ_1; und nimmt zweitens auch $-\frac{\beta_1}{\beta_2}$, das ja proportional ist zu φ_1, jeden Werth an von 0 bis $+\infty$ und von $-\infty$ bis null, aber jeden Werth nur einmal, d. h. für ein bestimmtes φ_1.

Während der Gegenstand, sich selber parallel, aus unendlicher Entfernung bis zur Lage AC (Fig. 91) heranrückte, ist sein Bild von

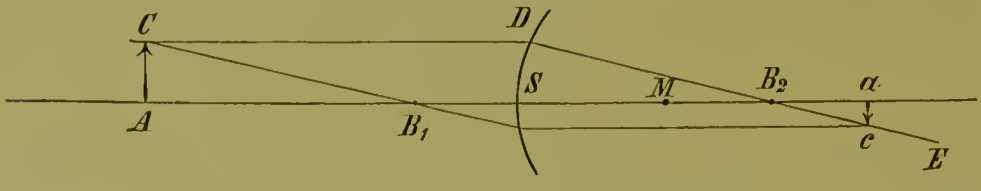

Fig. 91.

B_2 bis a abgerückt und hat inzwischen alle Grössen zwischen 0 und ac angenommen, da der Bildpunkt c stets der geraden Linie $D B_2 E$ angehören musste.

φ_1	φ_2	$-\frac{\beta_1}{\beta_2}$	$-\frac{\beta_2}{\beta_1}$	Bemerkungen.
$+\infty$	0	$+\infty$	0	
$+F_2$	$+F_1$	$\frac{F_2}{F_1}=\frac{n_2}{n_1}$	$\frac{n_1}{n_2}$	
$+F_1$	$+F_2$	$+1$	$+1$	Die zusammengehörigen Bilder sind gleich gross, aber entgegengesetzt gerichtet, für positive Simpla.
0	$+\infty$	0	$+\infty$	
$-F_1$	$-F_2$	-1	-1	Die zusammengehörigen Bilder sind gleich gross und gleich gerichtet, für positive Simpla.
$-F_2$	$-F_1$	$-\frac{F_2}{F_1}=-\frac{n_2}{n_1}$	$=-\frac{n_1}{n_2}$	
$-\infty$	0	$-\infty$	0	

§ 24. Die charakteristischen oder fundamentalen Punktpaare.

Aus der unzähligen Menge zusammengehöriger Punktpaare der Hauptachse wollen wir einige charakteristische oder fundamentale hervorheben:

1) Bedingung: $-\frac{\beta_1}{\beta_2}=+\infty$; d. h. $\varphi_1=+\infty$; also $\varphi_2=0$. Dem vorderen, in unendlicher Ferne gelegenen Endpunkt der Hauptachse ist der zweite Hauptbrennpunkt B_2 zugeordnet.

2) Bedingung: $-\frac{\beta_1}{\beta_2}=0$, d. h. $\varphi_1=0$; oder $\varphi_2=\infty$. Dem hinteren, in unendlicher Ferne gelegenen Endpunkt der Hauptachse ist der erste Hauptbrennpunkt B_1 zugeordnet.

3) Bedingung: $-\frac{\beta_1}{\beta_2}=-1$, also $\beta_1=\beta_2$. Die zusammengehörigen Bilder seien gleich gross und gleich gerichtet. Hierdurch bestimmen wir ein Paar zusammengehöriger Punkte, die (nach Gauss) als Hauptpunkte des Systems bezeichnet werden, sowie die in ihnen zur Hauptachse senkrechten Ebenen als Hauptebenen. Unsere Bedingung erfordert $\varphi_1=-F_1$, bestimmt also

$$\varphi_2=-F_2.$$

$\varphi_1 = -F_1$ bedeutet den Scheitel S; $\varphi_2 = -F_2$ bedeutet gleichfalls den Scheitel. Der Punkt S des Simplum ist sich selber conjugirt oder ein Doppelpunkt.[1])

4) Bedingung: $-\frac{\beta_1}{\beta_2} = -\frac{n_2}{n_1}$, d. h.

$$\frac{n_1 \beta_1}{n_2 \beta_2} = 1;$$ dann folgt

(aus Gl. 5, § 13) $\alpha_1 = \alpha_2$.

Die Divergenzwinkel seien gleich gross und gleich gerichtet. Hierdurch bestimmen wir ein Paar zusammengehöriger Punkte, die (nach Listing) als Knotenpunkte des Systems bezeichnet werden, sowie die in ihnen zur Hauptachse senkrechten Ebenen als Knotenpunktsebenen. Unsere Bedingung erfordert $\varphi_1 = -F_2$, bestimmt als $\varphi_2 = -F_1$.

$\varphi_1 = -F_2$ bezeichnet den Krümmungsmittelpunkt M, $\varphi_2 = -F_1$ bezeichnet gleichfalls den Krümmungsmittelpunkt. Auch der Punkt M des Simplum ist sich selber zugeordnet oder ein Doppelpunkt.[2])

In jedem positiven Systeme sind die fundamentalen Punkte folgendermassen geordnet, für die aus dem ersten Mittel vordringenden Lichtstrahlen: der erste Brennpunk ist der erste, der zweite Brennpunkt der letzte der fundamentalen Punkte.

§ 25. Erweiterung des Begriffs der Hauptbrennweiten.

a. Wird der Gegenstand $\beta_1 = 1$ von einem beliebigen Achsenpunkt aus um die Strecke $-F_1$[3]) verschoben, so wächst die directe Vergrösserungszahl v um die Einheit an.

Es sei 1) $\frac{\beta_1}{\beta_2} = -\frac{\varphi_1}{F_1} = \alpha$, wo α eine beliebige Zahl. Es sei ferner 2) $\frac{\beta_1}{b_2} = -\frac{f_1}{F_1} = \alpha + 1$.

Gesucht wird f_1.

3) $-\frac{f_1}{F_1} = -\frac{\varphi_1}{F_1} + 1 = \frac{F_1 - \varphi_1}{F_1}$.

$$\frac{f_1}{F_1} = \frac{\varphi_1 - F_1}{F_1}.$$

4) $f_1 = \varphi_1 - F_1$.

1) In zusammengesetzten Systemen fallen die beiden Hauptpunkte nicht in einen Punkt zusammen.

2) In zusammengesetzten Systemen fallen die beiden Knotenpunkte nicht in einen Punkt zusammen.

3) D. h. um den absoluten Werth von F_1, in der Richtung nach S.

b. Wird das Bild β_2 um $-F_2$ verschoben,[1]) so wächst das umgekehrte Bildgrössenverhältniss um die Einheit an.

5) Es sei $\frac{\beta_2}{\beta_1} = -\frac{\varphi_2}{F_2} = \gamma$, wo γ eine beliebige Zahl. Es sei ferner

6) $\frac{\beta_2}{b_1} = -\frac{f_2}{F_2} = \gamma + 1.$

7) $-\frac{f_2}{F_2} = -\frac{\varphi_2}{F_2} + 1 = \frac{F_2 - \varphi_2}{F_2}.$

8) $f_2 = \varphi_2 - F_2.$

Diese erweiterte Definition der Hauptbrennweiten liefert ein sicheres Verfahren, dieselben durch den Versuch zu bestimmen.

Anhang. Spiegelung an einer Kugelfläche. (Katoptrik.)

§ 25a. Die Wirkung der kugligen Spiegel gebrauchen wir erstlich theoretisch bei der Untersuchung der optischen Constanten des lebenden Auges und zweitens praktisch beim Augenspiegeln; und verstehen wir sofort aus der Wirkung der brechenden Kugelfläche. Wenn wir für den Fall der Spiegelung setzen

$$n_2 = -n_1,$$

so folgt für den erhabenen Kugelspiegel, aus Gl. I, § 1,

$$\frac{n_1}{f_1} - \frac{n_1}{f_2} = -\frac{2n_1}{R} \text{ oder } 1) \quad \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} = -\frac{2}{R};$$

und für $f_1 = \infty$ folgt daraus

$$2) \quad \frac{1}{F} = -\frac{2}{R}$$

oder $F = -\frac{R}{2}$. Der negative Brennpunkt liegt genau in der Mitte zwischen S und M. Endlich folgt aus Gl. X, § 7

$$\frac{\beta_1}{-\beta_2} = -\frac{\varphi_1}{\frac{1}{2}R}, \text{ oder}$$

$$3) \quad \frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{\varphi_1}{\frac{1}{2}R}.$$

Für den Hohlspiegel ist $F = +\frac{R}{2}$.

Diejenigen meiner Leser, welchen diese Ableitung des Einfachen aus dem Zusammengesetzten nicht zusagt, mögen das Folgende berücksichtigen.

---

1) D. h. um den absoluten Werth von F_2, in Richtung nach S hin.

A. Hohlspiegel. $S_1 S_2$ (Fig. 92) sei ein Hohlspiegel von so kleiner Öffnung, dass $S_1 S_2$ eine sehr kleine Grösse darstellt gegen

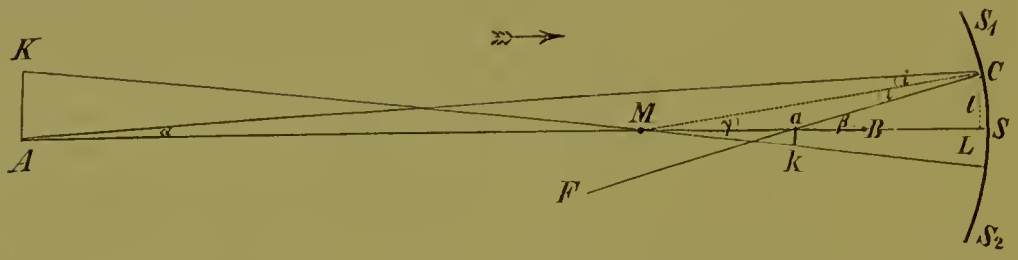

Fig. 92.

den Halbmesser $MS = r$. MS ist die Hauptachse, A ein Lichtpunkt in der derselben, AC ein beliebiger Lichtstrahl, der auf die Spiegelfläche fällt, mit sehr kleinem Einfallswinkel. ($\angle ACM = i$: der Halbmesser MC ist das Einfallsloth.) Dann ist CF der zurückgeworfene Strahl; $\angle MCF = i$.

(Das Gesetz der Spiegelung lautet: der einfallende und der zurückgeworfene Strahl liegen in derselben Ebene, zusammen mit dem Einfallsloth; der Zurückwerfungswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.)

Der zurückgeworfene Strahl schneide die Achse in a.

Wir setzen $AS = f_1$ und $aS = f_2$ (positiv, wenn im Sinne des Lichteinfalls vor S gelegen): $\angle CAS = \alpha$, $\angle CaS = \beta$, $\angle CMS = \gamma$; $CS = l$, das Loth von C auf die Hauptachse.

Wir beschränken wieder unsere Betrachtung auf diejenigen Strahlen, welche nahezu senkrecht einfallen. Dann sind alle Winkel (i, α, β, γ) so klein, dass sie gleich ihren Sinus oder Tangenten gesetzt werden können. (Defin., II.)

$$1)\ \beta = i + \gamma \text{ oder } i = \beta - \gamma.$$
$$2)\ \gamma = i + \alpha \text{ oder } i = \gamma - \alpha.$$
$$3)\ \beta - \gamma = \gamma - \alpha.$$
$$4)\ \alpha + \beta = 2\gamma.$$
$$5)\ \frac{l}{f_1} + \frac{l}{f_2} = \frac{2l}{r}, \text{ oder}$$
$$\text{I.}\ \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{2}{r}.$$

Hierdurch ist f_2 bestimmt, wenn r und f_1 gegeben. Da l sich forthebt, vereinigen sich alle von A zwischen S_1 und S (und ebenso zwischen S und S_2) einfallenden Strahlen nach der Spiegelung in a: a ist das Bild von A.

Setzen wir $f_1 = +\infty$ und den dazu gehörigen Werth von $f_2 = F$; so folgt

$$\frac{1}{F} = \frac{2}{r} \text{ oder II. } F = \frac{r}{2}$$

Der Brennpunkt B, d. i. der Vereinigungspunkt eines parallel der Hauptachse einfallenden schmalen Strahlenbündels, liegt in der Mitte zwischen Krümmungsmittelpunkt und Scheitel. Mit II erhalten wir jetzt aus I)

$$\text{III. } \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F} \text{ oder IV. } f_2 = \frac{f_1 F}{f_1 - F} .$$

Rechnen wir die zusammengehörigen Bildentfernungen nicht vom Scheitel, sondern vom Brennpunkt, indem wir setzen $AB = \varphi_1$, $aB = \varphi_2$; so folgt

$$f_1 = \varphi_1 + F,$$
$$f_2 = \varphi_2 + F. \text{ Somit wird aus IV jetzt}$$
$$\varphi_2 + F = \frac{(\varphi_1 + F)F}{\varphi_1} \text{ oder V. } \varphi_1 \varphi_2 = FF.$$

Ist AK ein sehr kleiner Kreisbogen um M mit dem Halbmesser AM, so gilt für K in Bezug auf die Nebenachse KM genau dasselbe, wie für A in Bezug auf die Hauptachse. k ist das Bild von K, $Mk = Ma$.

Die kleinen Bögen AK und ak können als grade Linien betrachtet werden, die in A, bezw. in a auf der Hauptachse senkrecht stehen. Von dem kleinen ebenen Gegenstand AK, der senkrecht zur Hauptachse, entwirft der Hohlspiegel das Bild ak, das senkrecht zur Hauptachse und dem Gegenstand ähnlich ist. AK und ak sind in Bezug auf M perspectivisch zu einander.

$$\frac{AK}{ak} = \frac{AM}{aM} \text{ oder, wenn wir setzen}$$
$$AM = g_1,\ aM = g_2,\ AK = \beta_1,\ ak = -\beta_2,$$

(das Minuszeichen bedeutet die entgegengesetzte Lage zur Hauptachse,)

$$\text{VI. } \frac{\beta_1}{-\beta_2} = \frac{g_1}{g_2} .$$

$g_1 = \varphi_1 - F$; $g_2 = F - \varphi_2$; also folgt, mit Benutzung von V,

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{\varphi_1 - F}{F - \frac{FF}{\varphi_1}} = \frac{\varphi_1}{F} .$$

$$\text{VI a. } \frac{\beta_1}{-\beta_2} = \frac{\varphi_1}{F} = \frac{F}{\varphi_2} .$$

Für den lichtsammelnden Hohlspiegel gelten dieselben Formeln der zusammengehörigen Bild-Grössen und Fernen, wie für die lichtsammelnde, brechende Kugelfläche. Allerdings hat der Spiegel nur einen Brennpunkt.

B. Gewölbte Kugelspiegel (Fig. 93). $S_1 S_2$ sei der Spiegel von kleiner Oeffnung, M der Krümmungsmittelpunkt, A ein Lichtpunkt

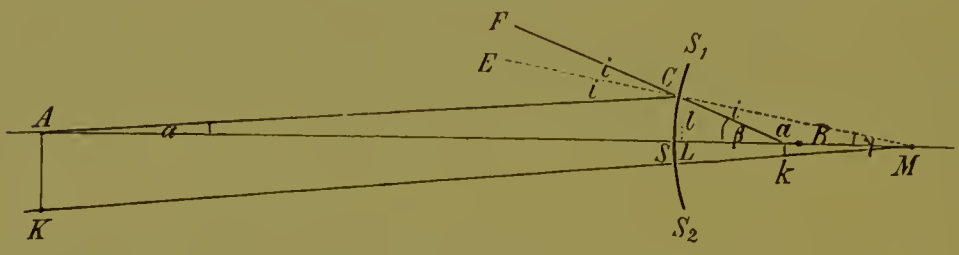

Fig. 93.

in der Hauptachse, AC ein beliebiger, einfallender Lichtstrahl; so ist CF der gespiegelte, der, rückwärts verlängert, die Hauptachse in a schneidet.

Es sei $AS = f_1$; $Sa = f_2$; $\angle CAS = \alpha$, $\angle C\alpha S = \beta$, $\angle CMS = \gamma$; $CL = l$.

1) $i = \alpha + \gamma$; ferner $\beta = i + \gamma$, also
2) $i = \beta - \gamma$.
3) $\alpha + \gamma = \beta - \gamma$.
4) $\alpha - \beta = -2\gamma$.
5) $\dfrac{l}{f_1} - \dfrac{l}{f_2} = \dfrac{-2l}{r}$.

$$\text{I.}\quad \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} = -\frac{2}{r}\,.$$

Hierdurch ist f_2 bestimmt, wenn r und f_1 gegeben. Setzen wir $f_1 = +\infty$, so dass $AC \parallel$ der Hauptachse; so wird der dazu gehörige Werth von f_2, den wir F schreiben, gleich $-\dfrac{r}{2}$.

$$\text{II.}\quad F = -\frac{r}{2}\,.$$

B, der negative Brennpunkt des gewölbten Kugelspiegels, liegt hinter demselben, in der Mitte zwischen S und M. Mit II folgt aus I

$$\text{I a.}\quad \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} = -\frac{1}{F}\,.$$

Ist f_1 positiv, so wird f_2 negativ, der Bildpunkt virtuell.

Ist AK ein kleiner Kreisbogen um M, so wird ak sein Bild. Die kleinen Bögen AK und ak können als gerade Linien, senkrecht zur Hauptachse, betrachtet werden.

$$\frac{AK}{ak} = \frac{AM}{aM}\,.$$

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{g_1}{g_2} = \frac{g_1 + F}{F + g_2} = \frac{g_1}{F}\,.$$

Die Gleichungen des Hohlspiegels gelten auch für den gewölbten, wenn F negativ wird. Dann folgt aus A, Gl. III, für den gewölbten Spiegel, dass, für positive f_1, f_2 negativ wird; und aus A, VIa, dass für positive φ_1 auch β_2 positiv wird.

$r = \infty$ giebt den ebenen Spiegel. Aus A, I folgt für den letzteren

$$\frac{1}{f_1} = -\frac{1}{f_2} \text{ oder } f_2 = -f_1.$$

Das Bild liegt ebenso weit hinter dem ebenen Spiegel wie der Gegenstand davor.

Aus A, VIa folgt, mit Benutzung von $\varphi_1 = f_1 - F$,

$$\frac{\beta_1}{-\beta_2} = \frac{f_1 - F}{F} = \frac{\frac{f_1}{F} - 1}{1}; \text{ oder, da } F = \infty,$$

$$-\frac{\beta_1}{\beta_2} = -1, \text{ d. h. } \beta_1 = \beta_2.$$

Das Bild im ebenen Spiegel ist dem Gegenstand gleich und gleich gerichtet.

II. Lichtbrechung an mehreren Kugelflächen.

§ 26. Für die Brechung achsennaher Strahlenbündel an einer Kugelfläche gelten:

1) $\frac{b}{b'} = -\frac{l}{F} = -\frac{F'}{l}$. (Gl. X, § 9) [1])

2) $n a b = n' a' b'$. (Gl. XIII, § 13).

3) $F = \frac{n r}{n' - n}$ und $F' = \frac{n' r}{n' - n}$. (Gl. II und III, § 3).

Hierin bedeuten b und b' die zusammengehörigen Bilder, l die Entfernung des Gegenstandes vom ersten Brennpunkt, l' die des Bildes vom zweiten Brennpunkt, F die erste, F' die zweite Brennweite; n die Brechungszahl des ersten, n' die des zweiten Mittels. Die Grössen, die sich auf das erste Mittel beziehen, sind ohne, die auf das zweite bezüglichen mit oberem Strich. a und a' sind die Divergenzwinkel.

§ 27. Es seien auf derselben Hauptachse die Mittel- und Brennpunkte zweier kugliger Trennungsflächen (1 und 2) gegeben. Bei dieser Lage der Hauptpunkte nennt man das System centrirt.

Die Gleichungen 1, 2, 3 § 26 gelten sowohl für die erste Kugelfläche als auch für die zweite. Für die erste Fläche bedienen wir uns der lateinischen, für die zweite der griechischen Buchstaben.[2])

---

1) Die Grössen, die dort φ und φ' hiessen, werden jetzt l und l' genannt.

2) Nur für die Brennpunkte nicht. B_1' ist der zweite Brennpunkt des ersten Theilsystems, B_2 der erste des zweiten.

$$\text{A) 1)}\quad \frac{b}{b'} = -\frac{l}{F} = -\frac{F'}{l'}\,.$$

$$\text{2)}\quad \frac{\beta}{\beta'} = -\frac{\lambda}{\Phi} = -\frac{\Phi'}{\lambda'}\,.$$

$$\text{B) 1)}\quad n\,a\,b = n'\,a'\,b'.$$

$$\text{2)}\quad \nu\,\alpha\,\beta = \nu'\,\alpha'\,\beta'.$$

Das mittlere Medium ist gemeinsam für beide Theilsysteme. Folglich wird $b' = \beta$, das Bild des ersten ist Gegenstand des zweiten;

$n' = \nu$, das zweite Mittel des ersten Theilsystems ist erstes des zweiten;

$a' = \alpha$, der gebrochene Strahl des ersten Theilsystems ist einfallender des zweiten.

C) 1) . . . .

2) $B_1' B_2 = d$ [1]) bestimmt den Abstand der beiden Theilsysteme von einander durch den Abstand zwischen dem zweiten Brennpunkt des ersten und dem ersten Brennpunkt des zweiten. (Fig. 93a.)

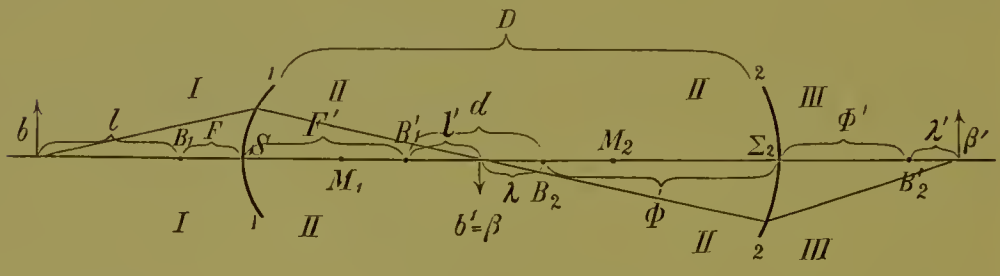

Fig. 93a.

Um nun die beiden Lichtbrechungen, an der ersten und an der zweiten Kugelfläche, organisch mit einander zu verbinden, berücksichtige man, dass

$$\text{2a)}\quad d = l' + \lambda.$$

$$l' = \frac{F F'}{l};$$

$$\lambda = \frac{\Phi \Phi'}{\lambda'}.$$ (§ 27, Gl. A, 1, 2, zweite Hälfte).

---

1) d ist negativ für gewöhnliche, dünne Glaslinsen, bei denen im Sinne der Lichtbewegung der erste Brennpunkt der zweiten Kugelfläche vor dem zweiten Brennpunkt der ersten Kugelfläche belegen ist.

In unserer Figur 93a ist der Deutlichkeit halber ein so grosser Zwischenraum zwischen den beiden Kugelflächen angenommen worden, dass d einen positiven Werth erlangt.

Dann fällt das vom ersten Theilsystem entworfene Bild eines vor B_1 gelegenen Lichtpunkts in die Strecke zwischen dem zweiten Brennpunkt der ersten Kugelfläche und dem ersten Brennpunkt der zweiten Kugelfläche.

2b) $d = \frac{FF'}{l} + \lambda$, oder

$$\lambda = d - \frac{FF'}{l}, \text{ oder}$$

$$l\lambda = ld - FF'.$$

2c) $d = l' + \frac{\Phi\Phi'}{\lambda'}$, oder

$$l' = d - \frac{\Phi\Phi'}{\lambda'}, \text{ oder}$$

$$l'\lambda' = \lambda' d - \Phi\Phi'.$$

§ 28. Aus den beiden Doppelgleichungen A) 1 und 2 des § 27 erhalten wir durch Multiplication, wobei b' gegen β sich forthebt;

1) $\frac{b}{\beta'} = \frac{l\lambda}{\Phi F} = \frac{\Phi' F'}{l'\lambda'}$. Nun ist (Gl. C, 2b, § 27)

2) $l\lambda = dl - FF'$. Ferner (Gl. C, 2c, § 27)

3) $l'\lambda' = d\lambda' - \Phi\Phi'$. Folglich wird aus Gl. 1

4) $\frac{b}{\beta'} = \frac{dl - FF'}{F\Phi} = \frac{F'\Phi'}{d\lambda' - \Phi\Phi'}$.

Durch die beiden Brechungen wird schliesslich von dem vor dem ersten Brennpunkt der ersten Kugelfläche belegenen Gegenstand b ein Bild β' entworfen, dessen Lage und Grösse nach der Doppelgleichung 4 eindeutig bestimmt ist durch die Constanten des Systems (F, F', Φ, Φ', d) und die gegebene Grösse (b) und Lage (l) des Gegenstandes. [Der zweite Theil der Doppelgleichung gilt für den umgekehrten Strahlengang, wenn β' Bild, b Gegenstand: dann sind, ausser denselben Constanten des Systems, β' und λ' gegeben, und dadurch b eindeutig bestimmt.]

Die Gleichung 4 ist allgemein giltig.

Folglich liefert die zweimalige Brechung an zwei aufeinander folgenden centrirten Kugelflächen ein ganz bestimmtes Bild, das dem ursprünglichen Gegenstand ähnlich ist.

$$b \sim b',\ b' = \beta,\ \beta \sim \beta'.$$

Die Aehnlichkeit zwischen dem ursprünglichen Gegenstand und dem schliesslichen Bild bedeutet, dass ein homocentrisches Strahlenbündel, welches von einem bestimmten Punkt des Gegenstandes ausgeht, wieder in den entsprechenden Punkt des Bildes gesammelt wird, also homocentrisch bleibt.

Das aus zwei brechenden Kugelflächen zusammengesetzte System (Duplum, Linse) wirkt analog einer einzigen brechenden Kugelfläche.

Wir wollen die charakteristischen Punkte des Systems aufsuchen.

Alle auf das zusammengesetzte System bezüglichen Grössen werden mit deutschen Buchstaben geschrieben.

§ 29. Hauptbrennpunkte.

A) Setzen wir in Gl. 4, § 28 die Entfernung des Gegenstandes unendlich ($l = +\infty$), so bestimmt das dazu gehörige λ' den zweiten Hauptbrennpunkt ($\mathfrak{B}'$) des zusammengesetzten Systems durch seinen Abstand von dem zweiten Hauptbrennpunkt des zweiten Simplum (B_2').

Ein parallel der Hauptachse im ersten Mittel verlaufendes Strahlenbündel wird durch die erste Brechung in B_1' vereinigt, dem zweiten Hauptbrennpunkt der ersten Kugelfläche.

Das Bild, welches von diesem durch die Brechung an der zweiten Kugelfläche entworfen wird, ist der zweite Hauptbrennpunkt des zusammengesetzten Systems.

Immer ist 1) $\lambda = d - \frac{F F'}{l}$. (§ 27. C, Gl. 2c).

2) $\lambda' = \frac{\Phi \Phi'}{\lambda}$. (§ 27, A, Gl. 2).

Setzen wir jetzt 3) $l = +\infty$, so folgt [1])

4) $\underline{\lambda} = d$, und

I) $\underline{\lambda'} = \frac{\Phi \Phi'}{d} = \overline{\mathfrak{B}' B_2'}$.

B) Setzen wir zweitens $\lambda' = +\infty$, so bestimmt das dazu gehörige l den ersten Hauptbrennpunkt des Duplum ($\mathfrak{B}$), durch seinen Abstand vom ersten Hauptbrennpunkt des ersten Theilsystems.

Allgemein ist (Gl. C, 2c, § 27)

5) $l' = d - \frac{\Phi \Phi'}{\lambda'}$; und (Gl. 2a § 27)

6) $l = \frac{F F'}{l'}$.

Setzen wir jetzt 7) $\lambda' = +\infty$, so wird das dazu gehörige

8) $\underline{l'} = d$, also

II) $\underline{l} = \frac{F F'}{d} = \overline{\mathfrak{B} B_1}$.

1) Den besonderen Werth von λ, λ' (u. s. w.) wollen wir unterstreichen.

Wenn wir nun den Abstand der beiden Kugelflächen $(S\,\Sigma)$ mit D bezeichnen, so wird natürlich

9) $D = F' + d + \Phi$; also

$d = D - F' - \Phi$; und folglich aus Gl. I unseres §

Ia) $\overline{\mathfrak{B}' B_2'} = \dfrac{\Phi\,\Phi'}{D - F' - \Phi}$; ebenso aus Gl. II unseres §

IIb) $\overline{\mathfrak{B}\,B_1} = \dfrac{F\,F'}{D - F' - \Phi}$.

§ 30. Hauptpunkte.

a) Setzen wir in Gleichung 4, § 28 jetzt $\dfrac{b}{\beta'} = 1$, so bestimmen die dazu gehörigen Werthe von l und λ' zwei zugeordnete Achsenpunkte des Duplum, für welche die zusammengehörigen Bilder gleich gross und gleich gerichtet sind. Wir nennen diese Achsenpunkte die Hauptpunkte des zusammengesetzten Systems und bezeichnen sie durch $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{H}'$.

Natürlich wird $\mathfrak{H}$ (als ein besonderer Werth von l) bestimmt durch seinen Abstand vom ersten Brennpunkt des ersten Theilsystems; und $\mathfrak{H}'$ (als ein besonderer Werth von λ') bestimmt durch seinen Abstand vom zweiten Brennpunkt des zweiten Theilsystems.

Gl. 4 § 28 lautet

$$\frac{b}{\beta'} = \frac{d\,l - F\,F'}{F\,\Phi} = \frac{F'\,\Phi'}{d\,\lambda' - \Phi\,\Phi'}.$$

Die Bedingung $\dfrac{b}{\beta'} = 1$ ergibt daraus

1) $F\,\Phi = d\,\underline{l} - F\,F'$, oder

IV) $\underline{l} = \overline{\mathfrak{H}\,B_1} = \dfrac{F\,\Phi + F\,F'}{d} = \dfrac{F\,\Phi + F\,F'}{D - F' - \Phi}$. (Gl. 9, § 30).

Ferner ebenso

2) $F'\,\Phi' = d\,\underline{\lambda'} - \Phi\,\Phi'$, oder

V) $\underline{\lambda'} = \overline{\mathfrak{H}'\,B_2'} = \dfrac{F'\,\Phi' + \Phi\,\Phi'}{d} = \dfrac{F'\,\Phi' + \Phi\,\Phi'}{D - F' - \Phi}$.

l ist positiv vor B_1; und λ' positiv hinter B_2'. Deshalb ist $\overline{\mathfrak{H}\,B_1}$ positiv, wenn $\mathfrak{H}$ vor B_1 liegt und $\mathfrak{H}'\,B_2'$ positiv, wenn $\mathfrak{H}'$ hinter B_2' liegt.

Es ist ja klar, dass wenn d positiv (vgl. Fig. 93a), ein zwischen B_1' und B_2 gelegener Gegenstand es sein wird, dessen vom ersten

und vom zweiten Theilsystem entworfene Bilder gleich gross und gleich gerichtet werden. Da der Gegenstand hinter dem zweiten Brennpunkt des ersten Theilsystems liegt, so liegt das Bild vor dem ersten Brennpunkt desselben. Da der Gegenstand vor dem ersten Brennpunkt des zweiten Theilsystems liegt, so liegt das Bild hinter dem zweiten. In welchem Punkt der Strecke d dieser Gegenstand liegen muss, um der Bedingung zu genügen, das werden wir später feststellen.

$\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{H}'$ sind im Allgemeinen zwei verschiedene Achsenpunkte des Duplum, während sie beim Simplum in denselben Punkt, den Scheitel der Kugelfläche, zusammenfielen.

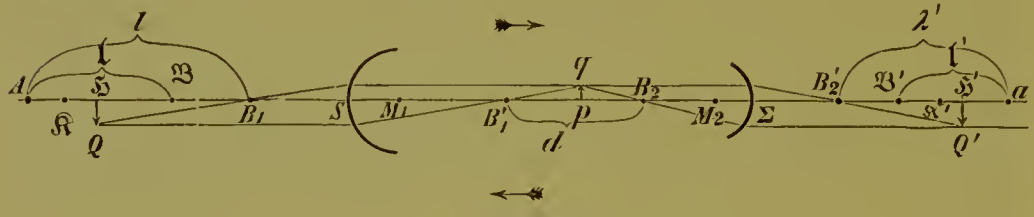

Fig. 93 b.

Stellt man sich zwischen B_1' und B_2 einen Gegenstand qp vor, dessen durch 1 entworfenes Bild $\underline{b}$ gleich gross und gleich gerichtet wird mit dem durch 2 entworfenen Bilde $\underline{\beta'}$; so werden $\underline{b}$ und $\underline{\beta'}$ i. A. an verschiedenen Punkten der Hauptachse liegen.

b) Natürlicher ist es, $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{H}'$ durch ihre Abstände von den entsprechenden Punkten der beiden Theilsysteme (den Haupt- oder Scheitelpunkten S und Σ) zu bestimmen. Dazu dient der Abstand

$$S\Sigma = D = F' + d + \Phi \quad \text{(Gl. 9, § 29).}$$

Somit folgt aus Gl. IV dieses §

$$3)\quad \mathfrak{H}S = \mathfrak{h} = \mathfrak{H}B_1 + B_1S = \frac{F\Phi + FF'}{D - F' - \Phi} + F.$$

$$4)\quad \mathfrak{h} = \frac{F\Phi + FF' + FD - FF' - F\Phi}{D - F' - \Phi}, \text{ oder}$$

$$\text{IV a)}\quad \mathfrak{h} = \frac{DF}{D - F' - \Phi}.$$

Ebenso wird aus Gl. V dieses §

$$5)\quad \mathfrak{H}'\Sigma = \mathfrak{h}' = \mathfrak{H}'B_2' + \Sigma B_2' = \frac{F'\Phi' + \Phi\Phi'}{D - F' - \Phi} + \Phi'.$$

$$6)\quad \mathfrak{h}' = \frac{F'\Phi' + \Phi\Phi' + D\Phi' - F'\Phi' - \Phi\Phi'}{D - F' - \Phi}.$$

$$\text{IV b)}\quad \mathfrak{h}' = \frac{D\Phi'}{D - F' - \Phi}.$$

$\mathfrak{h}$ ist positiv, wenn $\mathfrak{H}$ vor S liegt; $\mathfrak{h}'$ ist positiv, wenn $\mathfrak{H}'$ hinter Σ liegt, wie in unserer Fig. 93b, wo $D > F' + \Phi$. Also die Grössen $\mathfrak{h}$ und $\mathfrak{h}'$ sind positiv, wenn sie ausserhalb der Linse liegen.

In gewöhnlichen Glaslinsen ist $D < F' + \Phi$, also wird $D - F' - \Phi$ negativ, und die Grössen $\mathfrak{h}$ und $\mathfrak{h}'$ gleichfalls gewöhnlich negativ.[1])

§ 31. Hauptbrennweiten.

Die Achsenstrecke zwischen dem auf das erste Mittel des Duplum bezüglichen Hauptpunkt ($\mathfrak{H}$) und dem ersten Brennpunkt ($\mathfrak{B}$) nennen wir die erste Hauptbrennweite des Duplum. ($\mathfrak{B}\mathfrak{H} = \mathfrak{F}$.)

Ebenso nennen wir $\mathfrak{B}'\mathfrak{H}' = \mathfrak{F}'$ die zweite Hauptbrennweite des Duplum.

Wir haben die Längen $\mathfrak{F}$ und $\mathfrak{F}'$ aus den gegebenen Grössen der beiden Theilsysteme zu berechnen.

1) $\mathfrak{F} = \mathfrak{B}\mathfrak{H} = \mathfrak{B}S - \mathfrak{H}S$.[2])

2) $$\mathfrak{B}S = \mathfrak{B}B_1 + F = \frac{FF'}{D - F' - \Phi} + F.$$

(Gl. IIa § 29.)

3) $$\mathfrak{B}S = \frac{DF - F\Phi}{D - F' - \Phi}.$$

4) $$\mathfrak{H}S = \frac{DF}{D - F' - \Phi}.$$ (Gl. IVa, § 30).

V) $$\mathfrak{F} = \overline{\mathfrak{B}\mathfrak{H}} = \frac{-F\Phi}{D - F' - \Phi} = \frac{F\Phi}{F' + \Phi - D}.$$

5) $\mathfrak{F}' = \mathfrak{B}'\mathfrak{H}' = \mathfrak{B}'\Sigma - \mathfrak{H}'\Sigma$.

6) $$\mathfrak{B}'\Sigma = \mathfrak{B}'B_2' + \Phi' = \frac{\Phi\Phi'}{D - F' - \Phi} + \Phi'.$$

(Gl. Ia § 29.)

---

1) Werden F' und Φ negativ (bei lichtzerstreuenden Theilsystemen), so wird der Nenner der Brüche positiv, aber der Zähler negativ: die Grössen $\mathfrak{h}$ und $\mathfrak{h}'$ bleiben negativ.

2) $\mathfrak{H}\mathfrak{B}$ ist negativ, gerade so wie im Simplum, wenn in dem Gange der vom ersten Mittel her eindringenden Lichtstrahlen, welcher durch den oberen Pfeil angedeutet wird, $\mathfrak{B}$ hinter $\mathfrak{H}$ liegt. (Fig. 93b.)

Das erste Theilsystem entwirft aber, in dem durch den unteren Pfeil angedeuteten Strahlengange, vom vorderen Brennpunkt B_2 des zweiten Theilsystems das Bild $\mathfrak{B}$; und vom Punkt p das Bild $\mathfrak{H}$. Da p im zweiten Mittel näher an B_1' heran belegen ist, als B_2; so muss $\mathfrak{H}$ im ersten Mittel weiter ab von B_1 liegen als $\mathfrak{B}$.

Entsprechendes gilt für $\mathfrak{B}'$ und $\mathfrak{H}'$. — Bei einem positiven System ist im Gange der vom ersten Mittel her eindringenden Lichtstrahlen der erste Brennpunkt immer der erste der sechs fundamentalen Punkte und der zweite Brennpunkt immer der letzte. (Vgl. § 24, zu Ende.)

7) $\mathfrak{B}' \Sigma = \dfrac{D\Phi' - F'\Phi'}{D - F' - \Phi}$.

8) $\mathfrak{H}' \Sigma = \dfrac{D\Phi'}{D - F' - \Phi}$. (Gl. IVb, § 30.)

VI) $\mathfrak{F}' = \mathfrak{B}'\mathfrak{H}' = \dfrac{-F'\Phi'}{D - F' - \Phi} = \dfrac{F'\Phi'}{F' + \Phi - D}$.

($F' + \Phi - D$ ist für unsere Figur negativ, da $D > F' + \Phi$. — Bei gewöhnlichen, dünnen Glaslinsen wird dieser Ausdruck positiv, da dann $D < F' + \Phi$).

9) $d = D - F' - \Phi$. (Gl. 9, § 29);
$-d = F' + \Phi - D$.

Va) $\mathfrak{F} = \dfrac{F\Phi}{-d}$.

VIa) $\mathfrak{F}' = \dfrac{F'\Phi'}{-d}$.

10) $\dfrac{\mathfrak{F}}{\mathfrak{F}'} = \dfrac{F\Phi}{F'\Phi'} = \dfrac{n}{n'} \cdot \dfrac{\nu}{\nu'}$. (Gl. 3, § 26).

11) $n' = \nu$. (§ 27).

VII) $\dfrac{\mathfrak{F}}{\mathfrak{F}'} = \dfrac{n}{\nu'} = \dfrac{F\Phi}{F'\Phi'}$.

Die erste Brennweite des zusammengesetzten Systems verhält sich zur zweiten, wie der Brechungsindex des ersten Mittels zu dem des letzten.

Ist $n = \nu'$, so wird

12) $\mathfrak{F} = \mathfrak{F}'$. (Dies ist der Fall bei den Linsen.)

§ 32. Knotenpunkte.

Gl. 4, § 28 lautet

1) $\dfrac{b}{\beta'} = \dfrac{dl - FF'}{F\Phi} = \dfrac{F'\Phi'}{d\lambda' - \Phi\Phi'}$.

Als Bedingung für ein anderes Paar zusammengehöriger Achsenpunkte, die wir Knotenpunkte ($\mathfrak{K}$, $\mathfrak{K}'$) nennen, setzen wir

2) $\dfrac{b}{\beta'} = \dfrac{\nu'}{n}$;

also mit Berücksichtigung von Gl. VII § 31

3) $\dfrac{b}{\beta'} = \dfrac{F'\Phi'}{F\Phi}$. Dann wird aus der ersten Hälfte der Gl. 1 unseres §

$$4)\quad \frac{F'\Phi'}{F\Phi} = \frac{dl - FF'}{F\Phi}, \text{ also}$$

$$\text{VIII)}\quad \frac{F'\Phi' + FF'}{d} = l = \mathfrak{K}B_1.\ ^{1})$$

Ebenso folgt aus der zweiten Hälfte der obigen Gleichung 1 unseres §, wenn wir die Bedingung 3 einsetzen:

$$5)\quad \frac{F'\Phi'}{F\Phi} = \frac{F'\Phi'}{d\lambda' - \Phi\Phi'}.$$

$$\text{IX)}\quad \frac{F\Phi + \Phi\Phi'}{d} = \lambda' = \mathfrak{K}'B_2'.$$

Wir haben also die Abstände der Knotenpunkte $(\mathfrak{K}, \mathfrak{K}')$ des zusammengesetzten Systems von den bezüglichen Brennpunkten der beiden Theilsysteme. Jetzt suchen wir die Abstände der Knotenpunkte $(\mathfrak{K}, \mathfrak{K}')$ von den Brennpunkten des zusammengesetzten Systems.

$$\mathfrak{K}\mathfrak{B}\ ^{2}) = \mathfrak{B}B_1 - \mathfrak{K}B_1 = \frac{FF'}{d} - \left(\frac{F'\Phi' + FF'}{d}\right).$$

(Gl. II, § 29 und Gl. VIII dieses §).

$$\text{X)}\quad \mathfrak{K}\mathfrak{B} = \frac{F'\Phi'}{-d}.$$

$$\mathfrak{B}'\mathfrak{K}' = \mathfrak{B}'B_2' - \mathfrak{K}B_2' = \frac{\Phi\Phi'}{d} - \left(\frac{F\Phi + \Phi\Phi'}{d}\right).$$

(Gl. I, § 29 Gl. IX dieses §).

$$\text{XI)}\quad \mathfrak{B}'\mathfrak{K}' = \frac{F\Phi}{-d}.$$

$\mathfrak{K}$ und $\mathfrak{K}'$ sind im Allgemeinen 2 verschiedene Achsenpunkte.

$\mathfrak{B}\mathfrak{K} = \mathfrak{B}'\mathfrak{H}' = \mathfrak{F}'$. (Gl. VIa, § 31).

$\mathfrak{B}'\mathfrak{K}' = \mathfrak{B}\mathfrak{H} = \mathfrak{F}$. (Gl. Va, § 31).

§ 33. Die Lage der Haupt-, Knoten- und Brennpunkte in einem dünnen (linsenähnlichen) lichtsammelnden System zeigt Fig. 94.

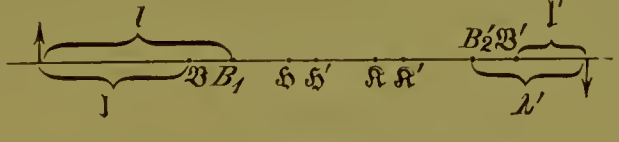

Fig. 94.

$$\mathfrak{B}\mathfrak{B}' = \mathfrak{B}\mathfrak{H} + \mathfrak{H}\mathfrak{H}' + \mathfrak{H}'\mathfrak{B}'.$$
$$\mathfrak{B}\mathfrak{B}' = \mathfrak{B}\mathfrak{K} + \mathfrak{K}\mathfrak{K}' + \mathfrak{K}'\mathfrak{B}'.$$

---

1) Die Grössen l werden vom ersten Brennpunkt des ersten Theilsystems abgerechnet; die Grössen λ' vom zweiten Brennpunkt des zweiten Theilsystems.

2) $\mathfrak{K}\mathfrak{B}$ ist negativ, analog wie bei dem Simplum, wenn im Gange der vom ersten Mittel her eindringenden Lichtstrahlen $\mathfrak{B}$ hinter $\mathfrak{K}$ liegt; und $\mathfrak{K}'\mathfrak{B}'$, wenn $\mathfrak{B}'$ vor $\mathfrak{K}$ liegt.

Daraus folgt, dass $\mathfrak{H}\mathfrak{H}' = \mathfrak{K}\mathfrak{K}'$. Der gegenseitige Abstand der beiden Hauptpunkte ist so gross, wie der der beiden Knotenpunkte.

Wenn $n = \nu'$, also $\mathfrak{F} = \mathfrak{F}'$, so fällt $\mathfrak{K}$ mit $\mathfrak{H}$ zusammen und $\mathfrak{K}'$ mit $\mathfrak{H}'$. Denn dann wird

$$\mathfrak{B}\mathfrak{K} = \mathfrak{B}\mathfrak{H} = \mathfrak{F}$$
$$\mathfrak{B}'\mathfrak{K}' = \mathfrak{B}'\mathfrak{H}' = \mathfrak{F}$$

(Dies trifft zu für die Linsen).

§ 34. Jetzt beziehen wir die Abstände der zusammengehörigen Bilder auf die Brennpunkte $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{B}'$ des zusammengesetzten Systems.

$\mathfrak{l}$ sei der Abstand des Gegenstandes von $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{l}'$ der des Bildes von $\mathfrak{B}'$. (Vgl. Fig. 93b.)

1) $l - \mathfrak{l} = \mathfrak{B}B'$, oder

$$\mathfrak{l} = l - \mathfrak{B}B' = l - \frac{FF'}{d}. \quad \text{(Gl. II, § 29).}$$

2) $$\mathfrak{l} = \frac{dl - FF'}{d}.$$

Aber nach Gl. C, 2b, § 27 ist

3) $dl - FF' = l\lambda$. Also

4) $$\mathfrak{l} = \frac{l\lambda}{d}.$$

Nach Gl. 1, § 28 ist

5) $l\lambda = \frac{b}{\beta'} F\Phi$, also

6) $$\mathfrak{l} = \frac{b}{\beta'} \cdot \frac{F\Phi}{d}, \text{ oder}$$

6a) $$\frac{b}{\beta'} = \frac{\mathfrak{l}}{\frac{F\Phi}{d}}.$$ Ebenso ist

7) $\lambda' - \mathfrak{l}' = \mathfrak{B}'B_2'$ oder

$$\mathfrak{l}' = \lambda' - \mathfrak{B}B_2' = \lambda' - \frac{\Phi\Phi'}{d}. \quad \text{(Gl. I, § 29)}$$

8) $$\mathfrak{l}' = \frac{d\lambda' - \Phi\Phi'}{d}.$$

Nach Gl. 3, § 28 ist

9) $l'\lambda' = d\lambda' - \Phi\Phi'$. Also

10) $$\mathfrak{l}' = \frac{l'\lambda'}{d}.$$

Nach Gl. 1 § 28 ist

11) $l' \lambda' = \frac{\beta'}{b} \cdot F' \Phi'$, also

12) $l' = \frac{\beta'}{b} \cdot \frac{F' \Phi'}{d}$, oder

12a) $\frac{b}{\beta'} = \frac{\frac{F' \Phi'}{d}}{l'}$.

Nehmen wir Gl. 6a und 12a zusammen und berücksichtigen, dass $\frac{F \Phi}{d} = -\mathfrak{F}$ und $\frac{F' \Phi'}{d} = -\mathfrak{F}'$ (Gl. Va und VIa, § 31); so folgt

X) $\frac{b}{\beta'} = -\frac{l}{\mathfrak{F}} = -\frac{\mathfrak{F}'}{l'}$.

l und l' sind die Entfernungen der zusammengehörigen Bilder von den entsprechenden Brennpunkten des zusammengesetzten Systems; $\mathfrak{f}$ und $\mathfrak{f}'$ seien die Entfernung der zusammengehörigen Bilder von den entsprechenden Hauptpunkten desselben.

13) $l = \mathfrak{f} - \mathfrak{F} = -(\mathfrak{F} - \mathfrak{f})$.

14) $l' = \mathfrak{f}' - \mathfrak{F}' = -(\mathfrak{F}' - \mathfrak{f}')$. Dann wird aus X

15) $\frac{b}{\beta'} = \frac{\mathfrak{F} - \mathfrak{f}}{\mathfrak{F}} = \frac{\mathfrak{F}'}{\mathfrak{F}' - \mathfrak{f}'}$.

16) $(\mathfrak{F} - \mathfrak{f})(\mathfrak{F}' - \mathfrak{f}') = \mathfrak{F}\mathfrak{F}'$

17) $\mathfrak{f}\mathfrak{f}' = \mathfrak{f}\mathfrak{F}' + \mathfrak{f}'\mathfrak{F}$. Also, dividirt durch $\mathfrak{f}\mathfrak{f}'$,

XI) $\frac{\mathfrak{F}}{\mathfrak{f}} + \frac{\mathfrak{F}'}{\mathfrak{f}'} = 1$.

§ 35. Somit erhalten wir beim Duplum für das Grössenverhältniss zwischen erstem und letztem Bild (d. h. zwischen ursprünglichem Gegenstand und schliesslichem Bild) genau dasselbe Gesetz wie bei der einfachen Kugelfläche. (Gl. X, § 34.)

Daraus folgt, dass wir das Duplum ersetzen können durch dasjenige Simplum, für welches

$$n = n$$
$$n' = \nu'$$
$$r = \mathfrak{F}' - \mathfrak{F}.$$ (Vergl. Gl. VI, § 5).

Nur haben wir statt der einfachen Hauptebene des Simplum deren zwei für das Duplum. Die erste Hauptebene bezieht sich auf den Gang des Lichtstrahls im ersten Mittel, die zweite auf den im letzten Mittel.

Von dem Punkt P, wo der einfallende Strahl die erste Hauptebene schneidet (Fig. 95), fällen wir ein Loth PQ auf die zweite

Hauptebene, bevor wir ihn die (durch $n\,a = n'\,a'$ bestimmte) Brechung erleiden lassen. Denn, da die beiden Hauptebenen die Oerter gleich-

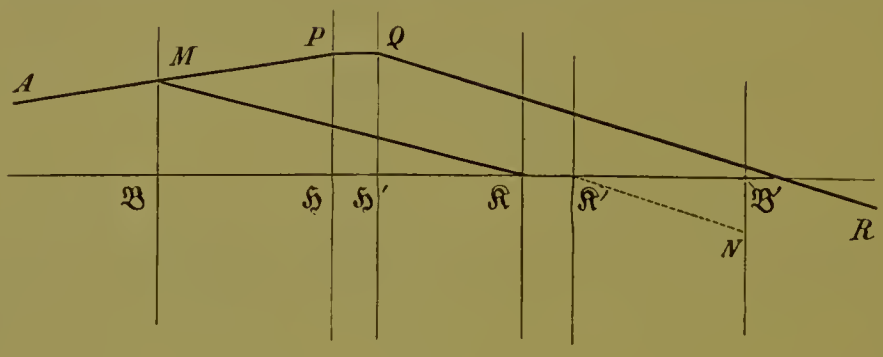

Fig. 95.

grosser und gleichgerichteter Bilder sind, so muss, wenn $\mathfrak{H}\,P = \mathfrak{H}'\,Q$, jeder Strahl, der in P eintritt, schliesslich aus Q wieder austreten.

Ferner haben wir im Duplum zwei Knotenpunkte statt des einen im Simplum; der erste Knotenpunkt bezieht sich auf den Gang der Lichtstrahlen im ersten Mittel, der zweite auf den im letzten Mittel. Der einfallende Strahl $M\,\mathfrak{K}$, der nach dem ersten Knotenpunkt zielt, wird in seiner Richtung nicht abgelenkt. Wir erhalten den dazu gehörigen gebrochenen Strahl, indem wir vom zweiten Knotenpunkt aus $\mathfrak{K}\,N \doteq M\,\mathfrak{K}$ ziehen.

Diese Vertretung des Duplum durch ein Simplum ist besonders bequem, wenn $\mathfrak{H}\,\mathfrak{H}' = \delta$ sehr klein gegen $\mathfrak{F}' - \mathfrak{F}$.

Dann wird δ verschwinden gegen $\mathfrak{F} + \mathfrak{F}'$ und wir erhalten aus

$$\mathfrak{B}\,\mathfrak{B}' = \mathfrak{F} + \delta + \mathfrak{F}' \text{ jetzt}$$
$$\mathfrak{B}\,\mathfrak{B}' = \mathfrak{F} + \mathfrak{F}',$$

genau wie bei dem Simplum.

Da nun für jedes Duplum dieselben Formeln gelten, wie für ein Simplum, so müssen auch die in § 27—34 gefundenen Formeln für die Zusammensetzung zweier Theilsysteme gelten.

Man kann zu einem Duplum ein Simplum [1]) oder ein anderes Duplum hinzufügen zu einem zusammengesetzten System, für welches die gefundenen Formeln gelten.

Ist ein zusammengesetztes centrirtes System aus beliebig vielen Kugelflächen gegeben, so kann man die gesammten Lichtbrechungen

1) Oder einem Kugelspiegel, für den ja dieselben Gleichungen gelten. Davon haben wir bei der Erforschung der optischen Constanten des Auges Gebrauch zu machen.

an allen Kugelflächen ersetzen durch die einmalige Lichtbrechung an einem einzigen System, dessen beide Brenn-, Haupt- und Knotenpunkte aus denen der Theilsysteme und deren Abständen zu berechnen sind.

Aus praktischen Gründen empfiehlt es sich auch, schrittweise vorzugehen, d. h. immer nur zwei auf einander folgende Theilsysteme zu einem neuen zusammenzusetzen, mit dem letzteren das dritte Theilsystem zu verbinden, u. s. w.

Denn schon für die Vereinigung von zwei Theilsystemen sind die Formeln ziemlich zusammengesetzt. Die Zusammensetzung und Schwierigkeit wächst bedeutend, wenn man drei oder noch mehr Theilsysteme auf einmal zusammenfassen wollte.[1])

§ 36. Construction.

A. 1) Gegeben ist der Weg eines Strahls im ersten Mittel; gesucht wird sein Weg im letzten Mittel.

Der gegebene Strahl AM (Fig. 95) wird verlängert, bis er die erste Hauptebene schneidet, in P; von P ein Loth PQ auf die zweite Hauptebene gefällt. Dann $QR \doteq M\mathfrak{N}$ gezogen. QR ist der gesuchte Strahl.

a) Der Strahl, der im ersten Mittel durch P geht, muss im letzten Mittel durch Q gehen, da die eine Hauptebene das Bild der andern, und da für diesen Fall die beiden zusammengehörigen Bilder gleich gross und gleich gerichtet sind.

b) Das von M, einem Punkt der ersten Brennebene, ausgehende Strahlenbündel ist nach der Brechung parallel (vgl. § 8) dem Strahl, welcher von jenem Punkt nach dem ersten Knotenpunkt zieht.

2) Gegeben ein Lichtpunkt C (Fig. 96), gesucht der dazu gehörige Bildpunkt.

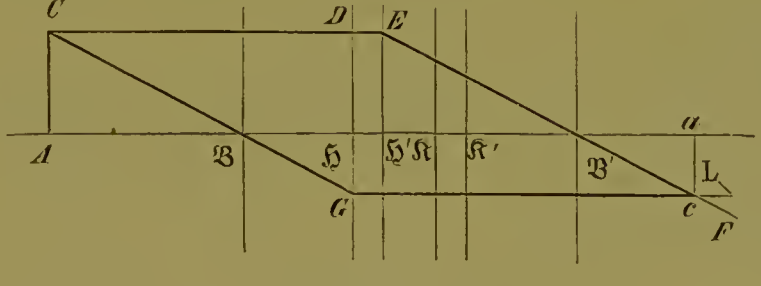

Fig. 96.

Man braucht nur zwei von C ausgehende Strahlen zu zeichnen und den Schnittpunkt der dazu gehörigen gebrochenen Strahlen zu suchen.

1) Vgl. m. Beitr. z. pr. Augenheilk. III, 30, 1878.

α) $CD \neq \mathfrak{B}\mathfrak{B}'$, verlängert bis zur zweiten Hauptebene. Derselbe muss nach der Brechung durch $\mathfrak{B}'$ gehen, in Richtung $E\mathfrak{B}'F$.

β) $C\mathfrak{B}$, verlängert bis zur ersten Hauptebene, vom Schnittpunkt G eine Parallele zu $\mathfrak{B}\mathfrak{B}$, nämlich GL. GL und EF schneiden sich in c.

c ist das Bild von C. (Man kann auch als zweiten Strahl $C\mathfrak{N}$ wählen, der dazu gehörige geht durch $\mathfrak{N}'$ und ist parallel zu $C\mathfrak{N}$.)

Ist A in der Hauptachse als Lichtpunkt gegeben, so errichtet man das Loth AC, sucht den Punkt c und fällt von c das Loth ca auf die Hauptachse.

Oder, da der Achsenstrahl $A\mathfrak{H}$ ungebrochen verläuft, man zieht einen beliebigen Strahl von A ausserhalb der Achse, sucht den dazu gehörigen gebrochenen und dessen Schnittpunkt mit der Achse.

B) Gegeben sind zwei Systeme, gesucht das daraus zusammengesetzte. (Fig. 97.)

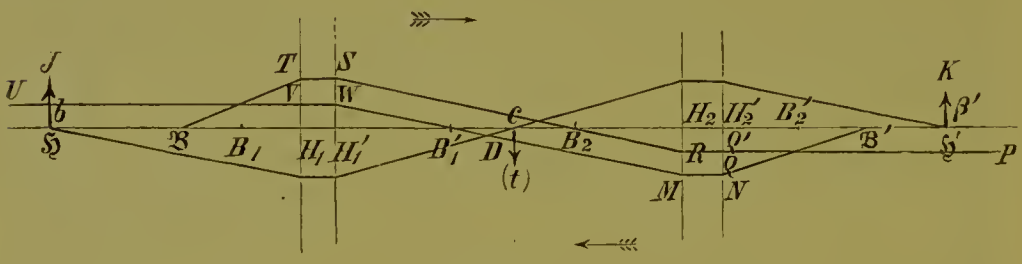

Fig. 97.

B_1 sei der erste, B_1' der zweite Brennpunkt; H_1 der erste, H_1' der zweite Hauptpunkt des ersten Systems: B_2 der erste, B_2' der zweite Brennpunkt; H_2 der erste, H_2' der zweite Hauptpunkt des zweiten Systems.

Die Brennweiten des ersten Theilsystems seien F und F', die des zweiten Φ und Φ'.

Der Abstand beider Systeme und zwar des zweiten Hauptpunktes des ersten Systems vom ersten Hauptpunkt des zweiten Systems $H_1' H_2 = D$ wird positiv gerechnet, da im Sinne der einfallenden Lichtstrahlen H_1' vor H_2 liegt.

a) Der der Hauptachse parallele Strahl PQ geht (bei dem durch den unteren Pfeil bestimmten Strahlengang) zunächst durch B_2, den ersten Brennpunkt des zweiten Theilsystems.

Der Strahl RB_2S, darauf im ersten System gebrochen, schneide die Achse im Punkte $\mathfrak{B}$. Dies ist der erste Brennpunkt des zusammengesetzten Systems.

b) Der der Hauptachse parallele Strahl UV geht (bei dem durch den oberen Pfeil bestimmten Strahlengang) zunächst durch B_1'. Der Strahl $VB_1'M$, danach im zweiten Theilsystem gebrochen, schneide die Achse schliesslich im Punkte $\mathfrak{B}'$. Dies ist der zweite Brennpunkt des zusammengesetzten Systems.

c) Man theile die Strecke $H_1'H_2$ in zwei Theile, welche sich zu einander verhalten, wie die zu diesen Hauptpunkten gehörigen Brennweiten der beiden Theilsysteme.

$H_1'C : CH_2 = F' : \Phi$. Wir setzen $H_1'C = p$, $CH_2 = q$.

Man errichte in C das Loth $CD = t$ und construire (nach A, 2 dieses §) einerseits das Bild $\mathfrak{H}J = b$, welches das erste Theilsystem von t entwirft; und andererseits das Bild $\mathfrak{H}'K = \beta'$, welches das zweite Theilsystem von t entwirft.

Dann sind $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{H}'$ die Hauptpunkte des zusammengesetzten Systems.

Beweis. Nach Gl. X, § 34 gilt für das erste Theilsystem

$$1)\quad \frac{t}{b} = \frac{(F' - p)\,^{*)}}{F'} \text{ oder } t = \frac{(F' - p)\,b}{F'}.$$

Und für das zweite Theilsystem

$$2)\quad \frac{t}{\beta'} = \frac{(\Phi - q)\,^{**)}}{\Phi} \text{ oder } t = \frac{(\Phi - q)\,\beta'}{\Phi}.$$

$$3)\quad \frac{(F' - p)\;b}{F'} = \frac{(\Phi - q)\,\beta'}{\Phi} \text{ oder}$$

$$\frac{b}{\beta'} = \frac{(\Phi - q)}{(F' - p)} \cdot \frac{F'}{\Phi}.$$

Nun ist, nach unserer Construction,

$$4)\quad \frac{p}{q} = \frac{F'}{\Phi} \text{ oder } p = \frac{q\,F'}{\Phi}. \text{ Also}$$

$$5)\quad \frac{b}{\beta'} = \frac{(\Phi - q)}{\left(F' - \frac{q\,F'}{\Phi}\right)} \cdot \frac{F'}{\Phi}$$

$$6)\quad \frac{b}{\beta'} = \frac{(\Phi - q)}{(\Phi - q)} \cdot \frac{F' \cdot \Phi}{F' \cdot \Phi}.$$

---

*) Der Abstand des Bildes t von B_1', dem zweiten Hauptbrennpunkt des ersten Theilsystems ist

$$CB_1' = p - F', \text{ also}$$
$$-\,CB_1' = F' - p.$$

**) Der Abstand des Bildes t von B_2, dem ersten Brennpunkt des zweiten Theilsystems, ist

$$CB_2 = q - \Phi, \text{ also}$$
$$-\,CB_2 = \Phi - q.$$

Aus 6 folgt $b = \beta'$, die Bedingung für die Hauptpunktsebenen, dass in ihnen die zusammengehörigen Bilder gleich gross und gleich gerichtet sind.

d) Um die Knotenpunkte $\mathfrak{K}$ und $\mathfrak{K}'$ des zusammengesetzten Systems zu finden, theile man die Strecke $K_1' K_2$ (Fig. 98) in zwei Theile,

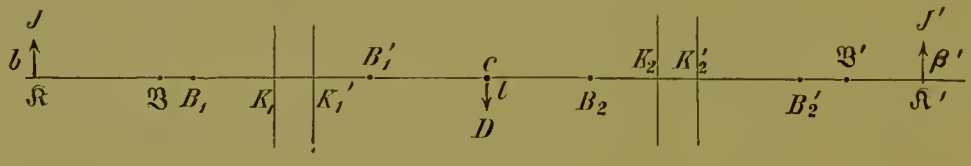

Fig. 98.

welche sich zu einander verhalten wie die zu den Knotenpunkten K' und K_2 gehörigen Brennweiten der beiden Theilsysteme, also

$$K_1' C : C K_2 = F : \Phi' \quad . \quad (K_1' B_1' = F;\ B_2 K_2 = \Phi'. \quad \S\ 32.)$$

$p : q = F : \Phi'$, wenn wir setzen $K_1' C = p,\ C K_2 = q$.

In C errichten wir das Loth $CD = t$ und construiren (nach A, 2 dieses §) einerseits das Bild $\mathfrak{K} J = b$, welches das erste Theilsystem von t entwirft; und andererseits das Bild $\mathfrak{K}' J' = \beta'$, welches das zweite Theilsystem von t entwirft.

Dann sind $\mathfrak{K}$ und $\mathfrak{K}'$ die Knotenpunkte des zusammengesetzten Systems.

Beweis. Nach Gl. X, § 34 gilt für das erste Theilsystem

$$1)\quad \frac{t}{b} = \frac{-(p - F)}{F'},\ \text{oder}\ t = \frac{(F - p)\,b}{F'}.$$

Und für das zweite

$$2)\quad \frac{t}{\beta'} = \frac{-(q - \Phi')}{F'},\ \text{oder}\ t = \frac{(\Phi' - q)\,\beta'}{\Phi}\ .$$

$$3)\quad \frac{(F - p)\,b}{F'} = \frac{(\Phi' - q)\,\beta'}{\Phi},\ \text{oder}$$

$$\frac{b}{\beta'} = \frac{(\Phi' - q)}{(F - p)} \cdot \frac{F'}{\Phi}\ .$$

Nun ist, nach unserer Construction,

$$4)\quad \frac{p}{q} = \frac{F}{\Phi'},\ \text{oder}\ p = \frac{q\,F}{\Phi'}\ .\ \text{Also}$$

$$5)\quad \frac{b}{\beta'} = \frac{(\Phi' - q)}{\left(F - \frac{q\,F}{\Phi'}\right)} \cdot \frac{F'}{\Phi}\ .$$

$$6)\quad \frac{b}{\beta'} = \frac{(\Phi' - q)}{(\Phi' - q)} \cdot \frac{\Phi' F'}{F \Phi}\ .$$

$\frac{\Phi' F'}{F \Phi} = \frac{\nu'}{n}$ · (Gl. VII, § 31). Also

6) $\frac{b}{\beta'} = \frac{\nu'}{n}$, die Bedingung der Knotenpunktsebenen. (§ 32).

III. Anwendungen. Die Linsen und das Auge.

A) Linsen.

§ 37. Mit dem Namen Linse bezeichnet man ein centrirtes Duplum,[1]) dessen erstes und letztes Mittel gleich sind. In dem gewöhnlichen Fall bildet Glas das zwischen den beiden kugligen Trennungsflächen liegende Mittel, und Luft die beiden äusseren.

Bedingungsgleichung der Linsen ist also 1) $n_3 = n_1$; daraus folgt (Gl. 12, § 31) $\mathfrak{F} = \mathfrak{F}'$.

Wir wollen die auf die erste Kugelfläche bezüglichen Grössen mit dem unteren Zahlzeichen 1, die auf die 2. Kugelfläche bezüglichen mit dem unteren Zahlzeichen 2 bezeichnen, die auf das zusammengesetzte System der Linse bezüglichen Grössen mit deutschen Buchstaben schreiben und stets durch den oberen Strich das hintere Mittel des betreffenden Systems kennzeichnen.

§ 38. A) Für die erste Kugelfläche gilt, nach Gl. II u. III, § 3,

1) $F_1 = \frac{n_1 r_1}{n_2 - n_1}$; und 2) $F_1' = \frac{n_2 r_1}{n_2 - r_1}$.

Für die 2. Kugelfläche ebenso

3) $F_2 = \frac{n_2 r_2}{n_3 - n_2}$ oder, da $n_3 = n_1$, (§ 37),

3a) $F_2 = \frac{n_2 r_2}{n_1 - n_2} = -\frac{n_2 r_2}{n_2 - n_1}$; und

4) $F_2' = \frac{n_3 r_2}{n_3 - n_2} = -\frac{n_1 r_2}{n_2 - n_1}$.

Für das aus den beiden Kugelflächen zusammengesetzte System der Linse gilt, nach Gl. V und VI des § 31,

5) $\mathfrak{F} = \frac{F_1 F_2}{F_1' + F_2 - D}$.

6) $\mathfrak{F}' = \frac{F_1' F_2'}{F_1' + F_2 - D}$.

---

1) Duplum ist nach unserer Erklärung ein System aus zwei kugligen Trennungsflächen; Duplet heisst eine Vereinigung von 2 Linsen (Dupla) zu einer Lupe.

Werden in 5 und 6 die Werthe aus 1 und 2, 3 und 4 eingesetzt, so folgt

$$7)\quad \mathfrak{F} = \frac{\left(\frac{n_1 r_1}{n_2 - n_1}\right)\left(\frac{-n_2 r_2}{n_2 - n_1}\right)}{\frac{n_2 r_1}{n_2 - n_1} - \frac{n_2 r_2}{n_2 - n_1} - D} = \frac{-n_1 n_2 r_1 r_2}{(n_2 - n_1)[n_2 r_1 - n_2 r_2 - D(n_2 - n_1)]};$$

oder, wenn man den Bruch mit — 1 multiplicirt,

$$\text{I.}\quad \mathfrak{F} = \frac{n_1 n_2 r_1 r_2}{(n_2 - n_1)\,[n_2 (r_2 - r_1) + D\,(n_2 - n_1)]} = \mathfrak{F}'.$$

B) Nach Gl. IVa, § 30 ist der Abstand des ersten Hauptpunktes der Linse von der ersten Trennungsfläche

$$8)\quad \mathfrak{h} = \frac{D F_1}{D - F_1' - F_2} = \frac{D.\ \frac{n_1 r_1}{(n_2 - n_1)}}{D - \frac{n_2 r_1}{n_2 - n_1} - \left(\frac{-n_2 r_2}{n_2 - n_1}\right)}$$

$$\text{II.}\quad \mathfrak{h} = \frac{D n_1 r_1}{(n_2 - n_1)\,D + n_2\,[r_2 - r_1]}.$$ Ebenso folgt (Gl. IVb, § 30)

$$9)\quad \mathfrak{h}' = \frac{D F_2'}{D - F_1' - F_2}.$$

$$\text{III.}\quad \mathfrak{h}' = \frac{-D n_1 r_2}{(n_2 - n_1)\,D + n_2\,(r_2 - r_1)}.$$

$$\text{IV.}\quad \frac{\mathfrak{h}}{\mathfrak{h}'} = \frac{r_1}{-r_2}.$$

C) Der gegenseitige Abstand der beiden Hauptpunkte, die bei der Linse mit den Knotenpunkten zusammenfallen (§ 34, zu Ende), sei $\mathfrak{K} = \mathfrak{H}\mathfrak{H}'$.

$$10)\quad \mathfrak{H}\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} S_1 + S_1 S_2 + S_2 \mathfrak{H}' \text{ oder}$$
$$\mathfrak{K} = \mathfrak{h} + D + \mathfrak{h}';$$ folglich (nach Gl. II u. III dieses §)

$$11)\quad \mathfrak{K} = \frac{D\,\{(n_2 - n_1)\,D + n_2\,(r_2 - r_1) + n_1 r_1 - n_1 r_2\}}{(n_2 - n_2)\,D + n_2\,(r_2 - r_1)}.$$

$$12)\quad n_2 (r_2 - r_1) + n_1 r_1 - n_1 r_2 = (n_2 - n_1)[r_2 - r_1].$$

$$\text{V.}\quad \mathfrak{K} = \frac{D\,\{(n_2 - n_1)\,(D + r_2 - r_1)\}}{(n_2 - n_1)\,D + n_2\,(r_2 - r_1)}.$$

$\mathfrak{h}$ und $\mathfrak{h}'$ waren positiv, wenn sie ausserhalb der Linse liegen.

$\mathfrak{K}$ ist positiv, wenn $\mathfrak{H}$ vor $\mathfrak{H}'$ liegt.

§ 39. Glaslinsen in Luft.

1) $n_1 = 1$.

2) $n_2 = n$ des Glases (= 1,528; oder, annähernd, = 1,5).

Für $n = \frac{3}{2}$ wird $\frac{1}{n-1} = 2$; $\frac{n}{n-1} = 3$; $\frac{n-1}{n} = \frac{1}{3}$.

$$\text{I. } \mathfrak{F} = \frac{1}{(n-1)} \cdot \frac{r_1 r_2}{\left\{(r_2 - r_1) + \left(\frac{n-1}{n}\right) D\right\}} = \frac{1}{(n-1)} \cdot \frac{r_1 r_2}{\varrho},$$

wenn wir (zur Vereinfachung) setzen

$$3) \quad \varrho = (r_2 - r_1) + \left(\frac{n-1}{n}\right) D.$$

$$\text{II. } \mathfrak{h} = \frac{1}{n} \cdot \frac{r_1}{\varrho} \cdot D.$$

$$\text{III. } \mathfrak{h}' = -\frac{1}{n} \cdot \frac{r_2}{\varrho} \cdot D.$$

$$\text{IV. } \mathfrak{K} = \left(\frac{n-1}{n}\right) \cdot \frac{(D + r_2 - r_1) \cdot D.}{\varrho} -$$

Ferner aus Gl. X, § 34, da $\mathfrak{F} = \mathfrak{F}'$,

$$\text{V. } -\frac{\beta}{\beta^1} = \frac{\varphi}{\mathfrak{F}} = \frac{\mathfrak{F}}{\varphi'}; \text{ endlich aus Gl. XI § 34 demnach}$$

$$\text{Va. } \frac{\mathfrak{F}}{f} + \frac{\mathfrak{F}}{f'} = 1, \text{ also}$$

$$\text{Vb. } \frac{1}{f} + \frac{1}{f'} = \frac{1}{\mathfrak{F}}, \text{ oder } \frac{1}{f'} = \frac{1}{\mathfrak{F}} - \frac{1}{f}.$$

In V, Va, Vb sind φ und φ' die Entfernungen zusammengehöriger Bilder von den entsprechenden Brennpunkten; f und f' dieselben von den entsprechenden Hauptpunkten.

§ 40. Vereinfachte Formeln für dünne Glaslinsen.

Die gewöhnlichen Glaslinsen des Brillenkastens sind sehr dünn und dabei ebenmässig[a]: d. h.

a) sym

1) D ist sehr klein gegen F_1' und gegen F_2, also

$$\mathfrak{F} = \frac{F_1 F_2}{F_1' + F_2} = \frac{F_1' F_2'}{F_1' + F_2} = \mathfrak{F}' \text{ (§ 38 A.)}$$

2) r_1 ist in absolutem Maasse gleich r_2.

Für den Hauptfall der doppelt erhabenen Sammellinse wird $r_2 = -r_1$, da die erste Kugelfläche dem einfallenden Strahl

die Wölbung, die zweite aber die Höhlung zukehrt; folglich $r_2 - r_1 = -2r$; eine Grösse, gegen welche $+ D$ verschwindet. Also folgt $\varrho = (r_2 - r_1) = -2r$.

$$\mathfrak{F} = \frac{-r \cdot r}{(n-1)(-2r)} = \frac{1}{(n-1)} \cdot \frac{r}{2}, \text{ oder}$$

$$\frac{1}{\mathfrak{F}} = \frac{2(n-1)}{r}.$$

Diese Gleichung haben wir zur Berechnung der Dioptrienwerthe benutzt. (Vgl. S. 99.)

Für $n = \frac{3}{2}$ wird $\mathfrak{F} = r$.

Die Grössen $\mathfrak{h}$ und $\mathfrak{h}'$ sowie $\mathfrak{K}$ nähern sich dem Werthe Null, da D (der Factor des Zählers) sich diesem Werthe nähert. (§ 39, Gl. II, III, IV.)

An Stelle der beiden Knoten- (Haupt-) Punkte tritt O, der optische Mittelpunkt der Linse. Dieser fällt mit dem geometrischen Mittelpunkt zusammen, wenn die Linse ebenmässig ist.

Ein Strahl, der durch O geht, wird nicht von seiner Richtung abgelenkt.

Bei einer unregelmässigen Linse, für welche r_2 in absolutem Maass nicht gleich r_1 ist, liegt O näher zu der stärker gekrümmten Fläche, derart, dass

$$S_1 O : O S_2 = r_1 : r_2.$$

Wir ziehen von M_1 einen beliebigen Radius $M_1 P_1$ und von M_2 den dazu parallelen $M_2 P_2$; verbinden P_1 mit P_2 durch eine Grade: so

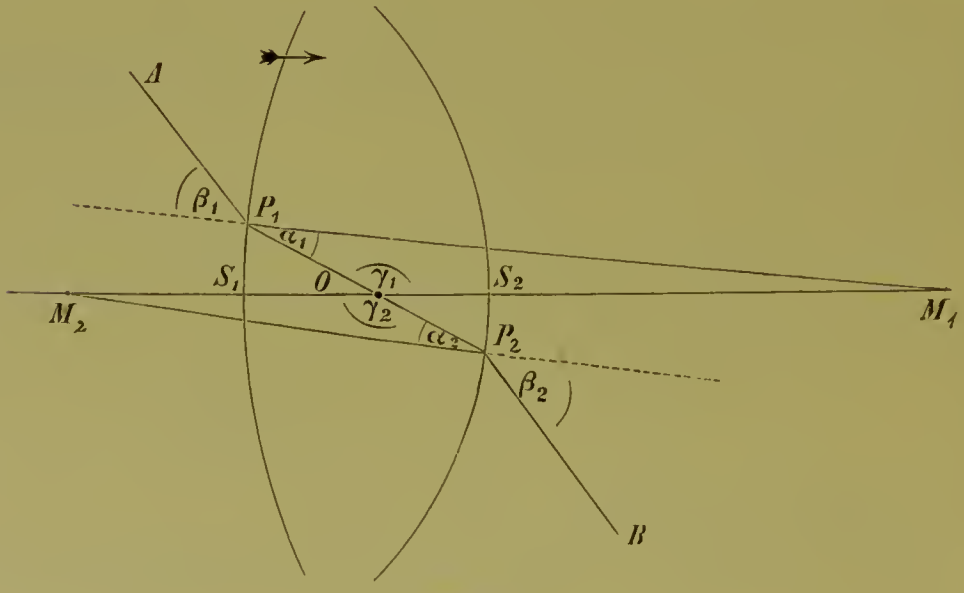

Fig. 99.

ist der Punkt O, in welchem $P_1 P_2$ und $M_1 M_2$ einander schneiden, der optische Mittelpunkt der Linse.

Geht ein Strahl in der beliebigen Richtung $P_1 P_2$ durch O, so wird

$$\angle \alpha_1 = \angle \alpha_2, \text{ da } M_1 P_1 \fallingdotseq M_2 P_2.$$

Da aber $n_1 = n_3$, so wird auch

$$\angle \beta_1 = \angle \beta_2, \text{ also } A P_1 \fallingdotseq B P_2,$$

d. h. der einfallende Strahl $A P_1$ wird von seiner Richtung nicht abgelenkt.

$$\triangle M_1 P_1 O \sim \triangle M_2 P_2 O, \text{ da } \angle \alpha_1 = \angle \alpha_2 ; \angle \gamma_1 = \angle \gamma_2.$$
$$M_1 P_1 : M_1 O = M_2 P_2 : M_2 O.$$
$$M_1 P_1 - M_1 O : M_2 P_2 - M_2 O = M_1 P_1 : M_2 P_2.$$
$$r_1 - M_1 O : r_2 - M_2 O = r_1 : r_2.$$
$$S_1 O : O S_2 = r_1 : r_2.$$

(Für die menschliche Crystall-Linse, deren Gestalt unsere Zeichnung wiedergiebt, ist $r_1 = 10$ Mm., $r_2 = 6$ Mm., $S_1 S_2 = 3{,}6$ Mm., $S_2 O = 2{,}4$ Mm.)

Der ursprünglich gewählte Radius $M_1 P_1$ war beliebig; indem wir den ihm parallelen $M_2 P_2$ zu der zweiten Kugelfläche der Linse zogen, und die Endpunkte der Radien P_1 und P_2 mit einander verbanden, erhielten wir als Schnittpunkt von $P_1 P_2$ mit der Hauptachse $M_1 M_2$ den festen Punkt O, der in einer gegebenen Linse die bestimmte Lage zwischen M_1 und M_2 besitzt, dass

$$S_1 O : O S_2 = r_1 : r_2.$$

Der Punkt O besitzt die Eigenschaft, dass jeder Lichtstrahl, der innerhalb der Linse ihn passirt, parallel seiner ursprünglichen Richtung wieder austritt, weil die berührenden Ebenen an den Endpunkten der beiden Radien (P_1 und P_2) einander parallel sind; die Linse also auf einen solchen Strahl wirkt, wie eine von zwei parallelen Ebenen begrenzte Glasplatte.[1])

§ 41. Zusatz. Die vereinfachte Formel für dünne Glaslinsen ist natürlich schon vor der Ganss'schen Dioptrik in einfachster Weise abgeleitet worden.

Für die Brechung an der ersten Kugelfläche der Linse gilt (Gl. Ia, § 2)

$$1) \quad \frac{1}{f_2} = \frac{1}{n_2}\left(\frac{n_2 - n_1}{r_1} - \frac{n_1}{f_1}\right).$$

1) Vgl. unten die Beschreibung des Ophthalmometers.

Für die Brechung an der zweiten Kugelfläche der doppelt erhabenen Glaslinse wird r_2 negativ und auch φ_1 negativ, da die Linse sehr dünn ist, also das erste Bild hinter die zweite Fläche fällt.

$$2)\quad \frac{1}{\varphi_2} = \frac{1}{n_3}\left(\frac{n_3 - n_2}{-r_2} - \frac{n_2}{-\varphi_1}\right).$$

Nun ist $n_3 = n_1$, als $n_3 - n_2 = -(n_2 - n_1)$; und, in absolutem Werth, nahezu $\varphi_1 = f_2$.

$$3)\quad \frac{1}{\varphi_2} = \frac{1}{n_1}\left(\frac{n_2 - n_1}{r_2} + \frac{n_2}{n_2}\left\{\frac{n_2 - n_1}{r_1} - \frac{n_1}{f_1}\right\}\right)$$

$f_1 = \infty$ giebt den besonderen Werth von φ_2, den wir mit $\mathfrak{F}$ bezeichnen.

$$\text{I.}\quad \frac{1}{\mathfrak{F}} = \frac{1}{n_1}\left(\frac{n_2 - n_1}{r_1} + \frac{n_2 - n_1}{r_2}\right) = \frac{n_2 - n_1}{n_1}\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$

oder für ebenmässige, dünne Glaslinsen in Luft

$$\frac{1}{\mathfrak{F}} = \frac{2\,(n-1)}{r}.$$ (Vgl. § 40.)

Die verschiedenen Arten der Linsen.

A. Sammellinsen.

1) Doppelt erhabene.

§ 42. Bei den doppelt erhabenen Sammellinsen sind die beiden Kugelflächen nach aussen gewölbt; also r_1 positiv, r_2 negativ.

$\mathfrak{F}$ ist positiv; denn in Gl. I § 39 ist sowohl der Zähler des Bruchs negativ (wegen r_2), als auch der Nenner negativ, da $\varrho = r_2 - r_1 + \left(\frac{n-1}{n}\right)D$, wegen der Kleinheit von $+D$ gegen $r_2 - r_1$, immer negativ bleibt. $\mathfrak{h}$ ist negativ: denn der Zähler des Bruchs (Gl. II, § 39) ist positiv, D ist seiner Natur nach immer positiv; der Nenner ϱ ist negativ. $\mathfrak{h}'$ ist negativ: denn der Zähler des Bruchs ist positiv, da r_2 negativ, also $-r_2$ positiv; der Nenner ϱ ist negativ.

Also liegen die beiden Hauptpunkte innerhalb der Linse: denn $\mathfrak{h}$ war positiv, wenn vor der ersten Trennungsfläche gelegen; $\mathfrak{h}'$ war positiv, wenn hinter der zweiten Trennungsfläche gelegen. $\mathfrak{K}$ ist positiv (Gl. IV, § 39), da im Zähler des Bruchs die Grösse $(D + r_2 - r_1)$ negativ, wegen des negativen Werthes von r_2, und im Nenner ϱ negativ. Also liegt der erste Hauptpunkt vor dem zweiten.

§ 43. Als Beispiel wähle ich die dickste Linse des Brillenkastens, welche bisher als + 2 Zoll bezeichnet worden. Der Krümmungshalbmesser der Schleifschale ist 2 Zoll preuss. = 52 Mm.; die Dicke beträgt etwa 8 Mm.[1]) (Fig. 100.)

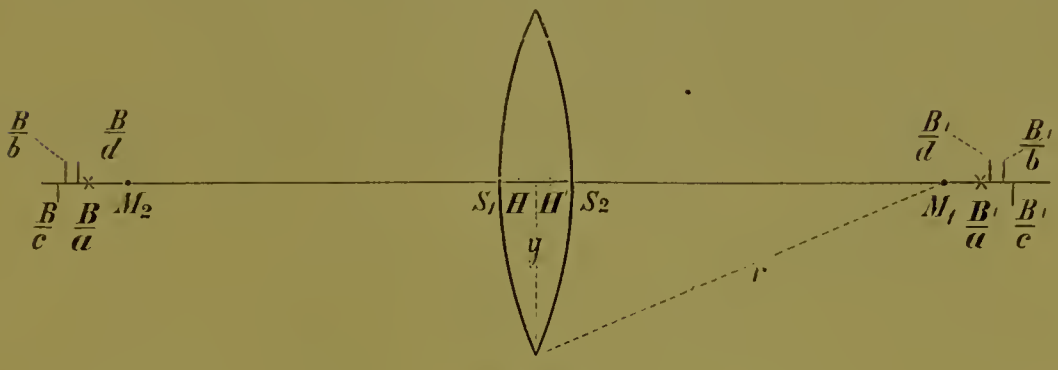

Fig. 100.

a) $n = 1{,}528$; $\frac{n-1}{n} = 0{,}345$.

$$\varrho = r_2 - r_1 + \left(\frac{n-1}{n}\right) D = -104 + 2{,}76 = -101{,}24 \text{ Mm.}$$

$$\mathfrak{F} = \left(\frac{1}{n-1}\right) \frac{r_1 r_2}{\varrho} = \frac{-52 \times 52}{0{,}528 \times (-101{,}24)} = +50{,}6 \text{ Mm.}$$

---

1) Die Dicke einer solchen biconvexen Linse ist

$$D = \frac{y^2}{\mathfrak{F}}, \quad \text{wenn } y \text{ die halbe Breite der Linse.}$$

Sei $d = \frac{D}{2}$, so folgt (Fig. 100)

$y^2 + (r - d)^2 = r^2$ oder, wenn man die kleine Grösse d^2 vernachlässigt,

$$y^2 = 2\,d\,r; \text{ d. h. } D = \frac{y^2}{r} = \frac{y^2}{\mathfrak{F}}, \text{ da hier } r = F.$$

Im obigen Fall messen wir $y = 19$ Mm.; setzen wir, um abzurunden, $y = 20$, so folgt

$$D = \frac{400}{52} = 8 \text{ Mm. (In runden Zahlen).}$$

Die Dicke einer planconvexen Linie ist auch

$$D = \frac{y^2}{\mathfrak{F}}, \text{ wo } \mathfrak{F} = 2\,r.$$

Will man ein sehr dünnes Glas, so wird es schmal. Ein planconvexes Starglas + 4 Zoll ist 33 Mm. breit, $2^3{}_4$ Mm. dick. $D = \frac{16{,}5^2}{104} = 2{,}72$ Mm. Das Glas + 20 D in der Scheibe des Augenspiegels ist kaum 1 Mm. dick, 7 Mm. breit, allerdings am Rande abgeschliffen.

Die Dicke einer planconcaven oder biconcaven Linse kann durch die Kunst des Schleifens beliebig verringert werden; die Grenze wird gegeben durch die Haltbarkeit.

$$\mathfrak{h} = \frac{1}{n} \cdot \frac{r_1 \cdot D}{\varrho} = \frac{1}{1{,}528} \times \frac{52 \times 8}{(-101.24)} = -2{,}5.$$

$$\mathfrak{h}' = -\frac{1}{n} \cdot \frac{r_2 D}{\varrho} = \frac{-1}{1{,}528} \times \frac{(-52) \times 8}{(-101{,}24)} = -2{,}5.$$

$$\mathfrak{K} = \left(\frac{n-1}{n}\right) \frac{(D + r_2 - r_1)}{\varrho} D = \frac{0{,}345.\,(8 - 52 - 52)\,8}{-101.24} = +3.$$

(Die Rechnungen sind in runden Zahlen ausgeführt.)

In Fig. 100 sind $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{H}'$ bezeichnet, ebenso die Brennpunkte $\frac{\mathfrak{B}}{a}$ und $\frac{\mathfrak{B}'}{a}$ durch ** angedeutet.[1])

b) Setzt man $n = 1{,}5$: so wird

$$\frac{n-1}{n} = \frac{1}{3} = 0{,}33.$$

$$\varrho = -101.$$

$$\mathfrak{F} = +53.$$

$$\mathfrak{h} = -2.6.$$

$$\mathfrak{F}_b - \mathfrak{F}_a = \triangle = 53 - 50.6 = 2.4.$$

$$\frac{\triangle}{\mathfrak{F}} = 5\,\% \text{ (ungefähr)}.$$

c) Vernachlässigt man D und setzt $n = 1.528$; so wird

$$\mathfrak{F} = 1{,}05.\ r = 54.6 \text{ Mm.},$$

vom optischen Mittelpunkte aus gerechnet.

d) Vernachlässigt man D und setzt gleichzeitig $n = 1{,}5$, so wird

$$\mathfrak{F} = r = 52 \text{ Mm.},$$

vom optischen Mittelpunkt aus gerechnet. Die aus diesen Berechnungen (*b, c, d*) sich ergebenden Brennpunkte

$\frac{\mathfrak{B}}{b}$, $\frac{\mathfrak{B}}{c}$, $\frac{\mathfrak{B}}{d}$ und $\frac{\mathfrak{B}'}{b}$, $\frac{\mathfrak{B}'}{c}$, $\frac{\mathfrak{B}'}{d}$ sind in der Figur bezeichnet.

$\frac{\mathfrak{B}}{d}$ fällt nahezu mit $\frac{\mathfrak{B}}{a}$ zusammen.

§. 44. Als zweites Beispiel wähle ich eine der dünnsten Linsen des Brillenkastens, nämlich diejenige, welche früher mit + 40 Zoll bezeichnet wurde.

$$r = 40'' = 1040 \text{ Mm.}$$

$$D = 1{,}5 \text{ Mm.}$$

$$\varrho = -2080 + 0{,}45$$

$$\mathfrak{F} = \frac{r}{1{,}05} = 1000 \text{ in runder Zahl.}$$

§ 45. Ueberhaupt ist für dünne und ebenmässige Linsen, wenn $n = \frac{3}{2}$ gesetzt wird,

1) Die Buchstaben in der Figur 100 sind aber lateinisch.

$$\varrho = -2r + \frac{D}{3}$$

$$\mathfrak{F} = \frac{-rr}{\frac{1}{2}\left(-2r + \frac{D}{3}\right)} = \left(\frac{1}{1 - \frac{1}{6}\cdot\frac{D}{r}}\right)\cdot r$$

$$\mathfrak{h} = -\left(\frac{1}{1 - \frac{1}{6}\cdot\frac{D}{r}}\right)\cdot\frac{D}{3} = \mathfrak{h}'.$$

Also $\mathfrak{h} = \mathfrak{h}' = -\frac{D}{3}$.

Denn $\frac{1}{6}\cdot\frac{D}{r}$ verschwindet gegen 1, da D klein gegen r.

Die beiden Hauptpunkte theilen die Linsendicke in drei gleiche Theile.

$$\mathfrak{K} = \frac{D}{3}.$$

§ 46. Dickere linsenartige Systeme aus drei Mitteln und zwei kugligen Trennungsflächen.

A. Aus Gl. 4, § 38 (nämlich $\mathfrak{F} = \frac{F_1 F_2}{F_1' + F_2 - D} = \mathfrak{F}'$) folgt sofort, dass für Systeme aus zwei positiv wirkenden Kugelflächen (F_1' und F_2 positiv) $\mathfrak{F} = \mathfrak{F}'$ immer positiv ist, so lange $F_1' + F_2 - D > 0$, d. h. positiv: also so lange die Dicke des Linsen-Systems kleiner, als $F_1' + F_2$.

Diese Bedingung ist erfüllt für die doppelt erhabenen Sammellinsen unseres Brillenkastens und unserer optischen Instrumente.

B. Wird aber $F_1' + F_2 - D = 0$ oder

$$F_1' + F_2 = D^*),$$

so folgt $\mathfrak{F} = \mathfrak{F}' = \infty$.

Dieses System wirkt wie ein Fernrohr[a]: ein parallel einfallendes Strahlenbündel bleibt parallel nach dem Austritt.

a) tele

C. Wird $D > F_1' + F_2$, so hat das doppelt erhabene Linsensystem eine negative Brennweite, d. h. der erste Brennpunkt liegt im Gange der einfallenden Lichtstrahlen hinter dem ersten Hauptpunkt,

*) Wenn $r_1 = -r_2$, d. h. der Linsenkörper beiderseits nach aussen gewölbt, wie wir angenommen, und beide Radien gleich in absolutem Maasse; wenn ferner $n_1 = 1$ (Luft), $n_2 = \frac{3}{2}$ (Glas): so folgt aus Gl. 2 und 3a des § 38, dass

$$F_1' = F_2 = 3r.$$

Also lautet die obige Bedingung auch $D = 6r$.

wie in unserer Fig. 97. Doch verlohnt es nicht, diese unpraktischen Fälle weiter zu verfolgen.[1])

§ 47. Kugellinsen

wurden früher als einfache Mikroskope und werden noch heute als Lupen verwendet.

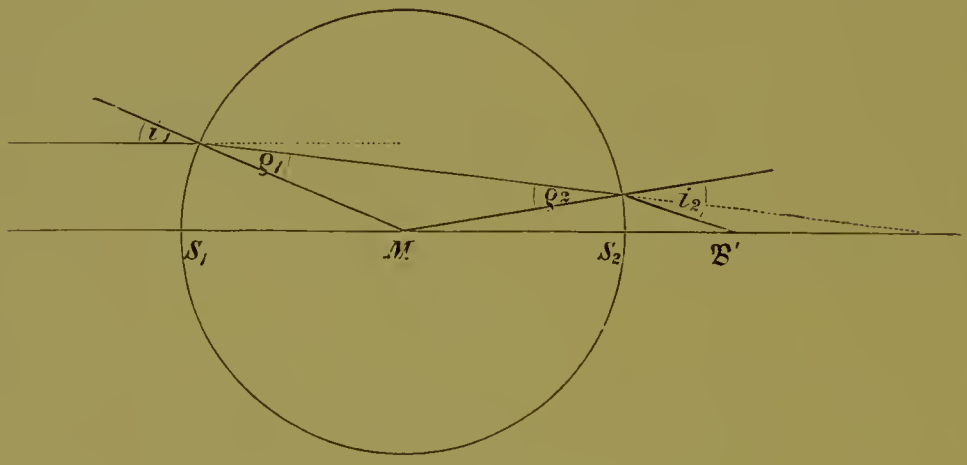

Fig. 101.

Wir betrachten eine feste Glaskugel in Luft. Es ist $D = 2r$. Nach § 39 wird

$$1)\ \mathfrak{h} = \frac{2rr}{\frac{3}{2}(-2r + \frac{2}{3}r)} = -r\ .$$

$$2)\ \mathfrak{h}' = \frac{2rr}{\frac{3}{2}(-2r + \frac{2}{3}r)} = -r\ .$$

$$3)\ \mathfrak{K} = \frac{1}{3}\,\frac{(2r - 2r)\,2r}{(-2r + \frac{2}{3}r)} = 0.$$

$$4)\ \mathfrak{F} = \mathfrak{F}' = \frac{-2rr}{(-2r + \frac{2}{3}r)} = +\frac{3}{2}r\ .$$

Die beiden Haupt- (Knoten-) Punkte fallen zusammen in den Mittelpunkt der Kugel. Es ist ja auch an sich klar, dass ein nach dem Mittelpunkt der Kugel zielender Strahl lothrecht auf beide Kugelflächen-Hälften fällt und demnach nicht abgelenkt wird.

Die Entfernung der Brennpunkte vom Mittelpunkt der Kugel ist $\frac{3}{2}r$; also von den brechenden Kugelflächen $= \frac{3}{2}r - r = \frac{r}{2}$.

1) Ein System aus zwei Linsen mit veränderlichem und wachsendem D werden wir bei den Optometern kennen lernen.

(Für eine Glaskugel in Luft ist $F = \frac{3}{2} r$; für eine Wasserkugel in Luft wird $\mathfrak{F} = 2r$: für eine Glaskugel in Wasser $= \frac{3}{2} r$, vom Mittelpunkt der Kugel ab gerechnet. Im dritten Fall ist die Brennweite drei Mal so gross als im ersten.)

§ 48. Zusatz. Die Lage des Brennpunkts der Kugellinse kann auch unabhängig von den Hauptpunkten auf einfache Weise gefunden werden.

Nach § 41 gilt für die Brechung an der ersten Kugelfläche der Linse

$$1) \quad \frac{1}{f_2} = \frac{1}{n_2}\left(\frac{n_2 - n_1}{r} - \frac{n_1}{f_1}\right).$$

Für die Brechung an der zweiten Kugelfläche ist einerseits r, andrerseits φ_1 negativ zu setzen und $n_3 = n_1$.

$$2) \quad \frac{1}{\varphi_2} = \frac{1}{n_1}\left(\frac{n_1 - n_2}{-r} - \frac{n_2}{-\varphi_1}\right) \text{ oder}$$

$$\frac{1}{\varphi_2} = \frac{1}{n_1}\left(\frac{n_2 - n_1}{r} + \frac{n_2}{\varphi_1}\right).$$

Für den Fall der Kugellinse wird in absolutem Maass $\varphi_1 = f_2 - 2r$. Also

$$3) \quad \frac{1}{\varphi_2} = \frac{1}{n_1}\left(\frac{n_2 - n_1}{r} + \frac{n_2}{f_2 - 2r}\right)$$

Wir suchen den Vereinigungspunkt eines parallel auf die erste Kugelfläche fallenden Strahlenbündels; dann wird $f_1 = \infty$ und

$$\underline{f_2} = \frac{n_2 r}{n_2 - n_1}$$

$$\frac{1}{\underline{\varphi_2}} = \frac{1}{n_1}\left(\frac{n_2 - n_1}{r} + \frac{n_2}{\frac{n_2 r}{n_2 - n_1} - 2r}\right)$$

$$\underline{\varphi_2} = \frac{(2n_1 - n_2) r}{2(n_2 - n_1)}.$$ [1])

φ_2 ist hier der Abstand des hinteren Brennpunkts der Kugellinse von der Hinterfläche der letzteren ($S_2 \mathfrak{B}'$).

A. Für eine Glaskugel in Luft wird $n_1 = 1$, $n_2 = \frac{3}{2}$

$$\varphi_2 = \frac{2 - \frac{3}{2}}{2(\frac{3}{2} - 1)} r = \frac{r}{2}.$$

B. Für eine Wasserkugel in Luft (Schusterkugel) wird $n_1 = 1$, $n_2 = \frac{4}{3}$.

$$\varphi_2 = \frac{(2 - \frac{4}{3}) r}{2(\frac{4}{3} - 1)} = r.$$

1) Vergl. J. Hirschberg, Arch. f. A. u. Physiol., 1882.

C. Für eine Glaskugel in Wasser wird $n_1 = \frac{4}{3}$, $n_2 = \frac{3}{2}$.

$$\varphi_2 = \frac{\left(2 \cdot \frac{4}{3} - \frac{3}{2}\right) r}{2\left(\frac{3}{2} - \frac{4}{3}\right)} = \left(\frac{\frac{16}{6} - \frac{9}{6}}{\frac{2}{6}}\right) r = \frac{7}{2} \cdot r \cdot$$

2) Einfach-erhabene Linsen.

§ 49. Wenn die eine Oberfläche eben, die andere erhaben ist, heisst die Linse einfach-erhaben oder planconvex.

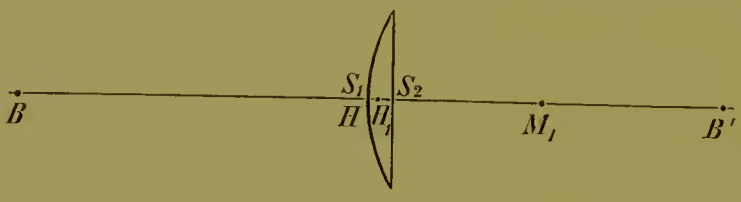

Fig. 102.

Zwei Fälle sind möglich;

A. Entweder ist r_1 positiv, r_2 unendlich.

B. Oder r_1 ist unendlich, r_2 negativ.

§. 50. A. $r_2 = \infty$.

Wir dividiren durch r_2 Nenner und Zähler der Gleichungen I, II, III des § 34 und erhalten

$$1)\ \mathfrak{F} = \frac{1}{(n-1)} \cdot \frac{r_1}{\left[1 - \frac{r_1}{r_2} + \frac{(n-1)}{n}\frac{D}{r_2}\right]} \cdot$$

$$2)\ \mathfrak{h} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\frac{r_1}{r_2} \cdot D}{\left[1 - \frac{r_1}{r_2} + \left(\frac{n-1}{n}\right)\frac{D}{r_2}\right]} \cdot$$

$$3)\ \mathfrak{h}' = -\frac{1}{n} \cdot \frac{\cdot D}{\left[1 - \frac{r_1}{r_2} + \left(\frac{n-1}{n}\right)\frac{\cdot D}{r_2}\right]} \cdot$$

Dies giebt für den Werth von $r_2 = \infty$

$$\text{I.}\ \mathfrak{F} = \frac{r_1}{n-1} \cdot$$

$$\text{II.}\ \mathfrak{h} = 0 \cdot$$

$$\text{III.}\ \mathfrak{h}' = -\frac{D}{n} \cdot$$

Ist $n > 1$, so bleibt $\mathfrak{F}$ immer positiv. Der erste Hauptpunkt fällt in die gekrümmte Fläche. Der zweite Hauptpunkt liegt innerhalb der Linse.

Für $n = \frac{3}{2}$ wird: 1) $F = 2r$. Für die einfach-erhabene Sammel-Linse ist die Brennweite das Doppelte des Krümmungshalbmessers. (Für die doppelt-erhabene war ungefähr $F = r$. § 43 d.) 2) $\mathfrak{h} = 0$. 3) $\mathfrak{h}' = -\frac{2}{3} \cdot D$; d. h. $\mathfrak{K} = \frac{D}{3}$, wie (§ 45) bei dünnen doppelt-erhabenen Linsen.

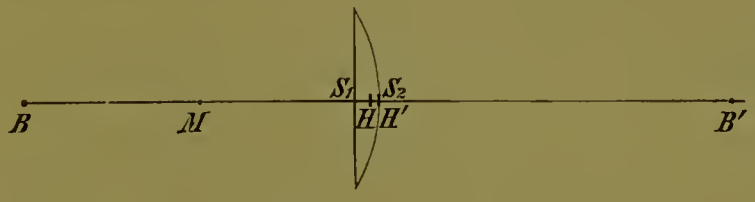

Fig. 103.

§ 51. B. $r_1 = \infty$.

Wir dividiren durch r_1 Zähler und Nenner der Gl. I, II, III des § 34:

$$1)\ \mathfrak{F} = \frac{1}{(n-1)} \cdot \frac{r_2}{\left[\frac{r_2}{r_1} - 1 + \left(\frac{n-1}{n}\right)\frac{D}{r_1}\right]}.$$

$$2)\ \mathfrak{h} = \frac{1}{n} \cdot \frac{D}{\left[\frac{r_2}{r_1} - 1 + \left(\frac{n-1}{n}\right)\frac{D}{r_1}\right]}.$$

$$3)\ \mathfrak{h}' = -\frac{1}{n} \cdot \frac{D \cdot \frac{r_2}{r_1}}{\left[\frac{r_2}{r_1} - 1 + \left(\frac{n-1}{n}\right)\frac{D}{r_1}\right]}.$$

Für $r_1 = \infty$ wird daraus

$$\text{I.}\ \mathfrak{F} = \frac{-r_2}{(n-1)} = -2r_2.$$

Da r_2 negativ, wird $\mathfrak{F}$ positiv. $(F = +2r.)$

$$\text{II.}\ \mathfrak{h} = -\frac{D}{n}.$$

$$\text{III.}\ \mathfrak{h}' = 0.$$

Der erste Hauptpunkt fällt in die Linse, um $\frac{2}{3}D$ hinter die ebene Fläche, der zweite Hauptpunkt fällt in die gekrümmte Fläche.

§ 52. Es macht für dickere Linsen der planconvexen Art schon einen gewissen Unterschied, ob die Linse an Ort und Stelle umgedreht wird, d. h. S_1 an den Platz von S_2 tritt, und S_2 an den von S_1. Setzen wir $D = 6$ Mm.[1]) für die planconvexe Linse von $3'' = 78$ Mm.

1) An einer durchschnittenen Linse der Art messe ich $D = 6{,}5$ Mm.

Brennweite; so liegt der vordere Brennpunkt vor S um 78 Mm., wenn die Kugelfläche nach vorn gedreht ist ($h_1\,h_2$, Fig. 104): um 74 Mm., wenn die ebene Fläche nach vorn gedreht wird ($H_1\ H_2$, Fig. 104).

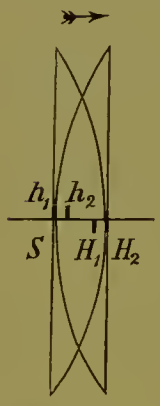

Fig. 104.

Der Unterschied ist $\triangle = 4$ Mm.

$$\frac{\triangle}{\mathfrak{F}} = \frac{4}{75} = 5\,\%. \quad \text{(In runden Zahlen.)}$$

B. Zerstreuungslinsen.

1. Doppelt ausgehöhlte.

§ 52. Bei der doppelt ausgehöhlten oder biconcaven Linse kehren beide Kugelflächen die Höhlung nach aussen. r_1 ist negativ, r_2 ist positiv, also $r_2 - r_1$ positiv. Die Brennweiten sind negativ. Denn in Gl. I, § 39 wird der Zähler des Bruchs negativ, der Nenner positiv: ϱ ist positiv, $(n - 1)$ positiv, da (nach der Voraussetzung) $n > 1$.

Doppelt ausgehöhlte Linsen aus einer Masse, die optisch dichter ist, als das umgebende Mittel, zerstreuen das Licht.[1])

$\mathfrak{h}$ ist negativ, da r_1 negativ; $\mathfrak{h}'$ ist negativ, da $-r_2$ negativ. (Gl. II und III, § 39). Die beiden Hauptpunkte liegen innerhalb der Linse.

$\mathfrak{K}$ ist positiv (Gl. IV § 39), da $D + r_2 - r_1$ positiv; der erste Hauptpunkt liegt vor dem zweiten. (Fig. 105.)

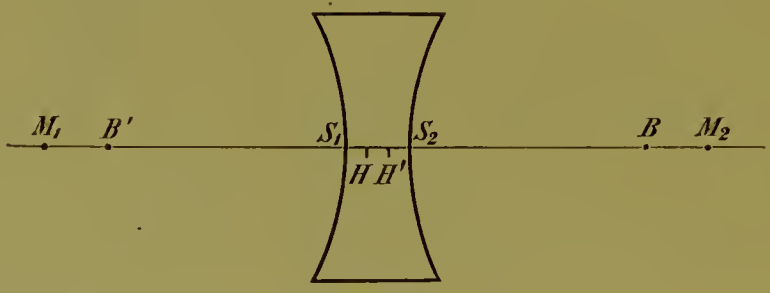

Fig. 105.

§ 53. Wir setzen $r_1 = -r_2$, $n = \frac{3}{2}$. Diese Bedingung giebt das doppelt-ausgehöhlte, ebenmässige Brillenglas. Dann erhalten wir aus Gl. I, II, III § 39:

---

1) Ist $n < 1$, so wird auch der Nenner negativ, $\mathfrak{F}$ positiv.

Fügt man aus zwei dünnen Uhrgläsern eine doppelt ausgehöhlte, mit Luft gefüllte Linse zusammen; so wirkt dieselbe in Wasser lichtsammelnd, in Luft neutral. Das ist eine Taucherbrille. (Vgl. S. 106.)

$$\varrho = +2r + \frac{D}{3} .$$

$$\mathfrak{F} = \frac{-r \cdot r}{\frac{1}{2}\left(2r + \frac{D}{3}\right)} = -\frac{1}{\left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{D}{r}\right)} \cdot r .$$

$$\mathfrak{h} = \mathfrak{h}' = -\frac{1}{\left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{D}{r}\right)} \cdot \frac{D}{3}$$

Ist D klein gegen r, so wird $\mathfrak{h} = \mathfrak{h}' = -\frac{D}{3}$: d. h. die beiden Hauptpunkte theilen D in drei gleiche Theile.

Lässt man D wachsen, so werden $\mathfrak{h}$ und $\mathfrak{h}'$ immer kleinere Theile von $-\frac{D}{3}$: d. h. stets liegt $\mathfrak{H}$ im ersten, $\mathfrak{H}'$ im letzten Drittel von D.

§ 54. Als Beispiel wähle ich die schärfste Zerstreuungslinse des Brillenkastens, deren Brennweite $= -2'' = -52$ Mm.

Die Kunst des heutigen Brillenschleifers besteht darin, diesem Glas in der Mitte, zwischen den beiden Scheiteln, eine Dicke von nur 1—2 Mm. zu belassen.

$\frac{1}{6} \cdot \frac{D}{r}$ wird also ungefähr $^1/_{300}$ bis $^1/_{150}$ und verschwindet gegen die Einheit.

$\mathfrak{F} = -r$, wenn $n = 1{,}5$ gesetzt wird; $1{,}05\ \mathfrak{F} = -r$, wenn $n = 1{,}528$.

2) Einfach ausgehöhlte Linsen.

§ 55. Wenn die eine Oberfläche eben, die andere ausgehöhlt ist, heisst die Linse einfach ausgehöhlt oder planconcav.

Zwei Fälle sind möglich:

A) Entweder ist r_1 negativ, r_2 unendlich.

B) Oder r_1 ist unendlich, r_2 positiv.

Die Formeln erhält man am leichtesten aus denen für die einfach erhabenen (§§ 50 und 51), indem man dem r der krummen Fläche das entgegengesetzte Vorzeichen giebt.

§ 56. A) $r_2 = \infty$.

$$\mathfrak{F} = \frac{-r}{(n-1)} .$$

$$\mathfrak{h} = 0 .$$

$$\mathfrak{h}' = -\frac{D}{n} .$$ (Fig. 106).

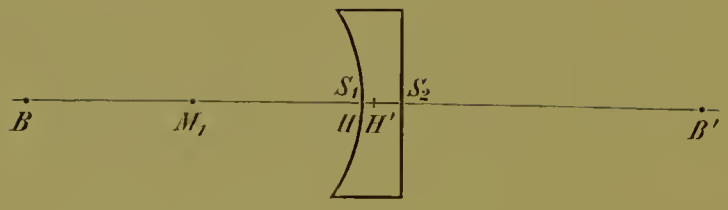

Fig. 106.

§ 57. B) $r_1 = \infty$.

$$\mathfrak{F} = \frac{-r}{(n-1)} .$$

$$\mathfrak{h} = -\frac{D}{n} .$$

$\mathfrak{h}' = 0$. (Fig. 107).

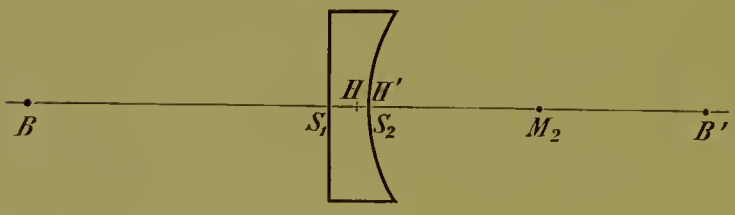

Fig. 107

§ 58. Die einfach ausgehöhlten Linsen sind immer lichtzerstreuend, wenn $n > 1$. $\mathfrak{F}$ ist nahezu das Doppelte von r. Der eine Hauptpunkt fällt in den Scheitel der Kugelfläche, der andere liegt im Innern der Linse, um $\frac{D}{n}$ (d. i. $\frac{2}{3}$ D) von der ebenen Oberfläche entfernt.

C) Concavconvexe Linsen oder Menisken.[1])

§ 59. Die eine Oberfläche der Linse ist gewölbt, die andere ausgehöhlt. Beide Krümmungshalbmesser haben dasselbe Vorzeichen, aber

1) Menisken heissen sie nach Fig. 108. (*Μήν* Mond, *μηνίσκος* kleiner Mond, Halbmond, ☽).

Die concavconvexen Linsen sind zum Theil licht-sammelnd, zum Theil lichtzerstreuend. Also ist unsere Eintheilung der Linsen in sammelnde, zerstreuende und Menisken nicht folgerichtig, wenngleich bequem. Man könnte die zu Brillengläsern verwendeten Linsen eintheilen 1) in solche gleicher Krümmung, [a) gewölbte, b) ausgehöhlte,] und 2) in solche verschiedener Krümmung. Die ersteren heissen auch gleichschenklig (iso-skel, von *ἰσοσκελής*, frz. isocèle), da die Halbmesser beider Kugelflächen gleich sind. Doppelt erhabene oder doppelt ausgehöhlte Linsen mit ungleichen Halbmessern, d. h. unebenmässige, schiefe oder bucklige Linsen sind nicht in Gebrauch. — Die Menisken heissen auch periskopische oder Umschau-Linsen. (Von *περισκοπέω*, ich schaue umher). Ueber den Grund dieses Namens werde ich noch zu reden haben.

im Hauptfall verschiedene Länge. Da (§ 39, Gl. I) der Zähler $r_1 r_2$ positiv: so ist $\mathfrak{F}$ positiv, wenn ϱ positiv.

$$\varrho = \frac{n-1}{n} D + r_2 - r_1. \quad \text{(Gl. 3, § 39.)}$$

1) $\varrho = \frac{n-1}{n} D - (r_1 - r_2)$. Dieser Ausdruck bleibt positiv, so lange

2) $D > \left(\frac{n}{n-1}\right)(r_1 - r_2)$.

§ 60. A) Beide Krümmungshalbmesser seien positiv, d. h. beide Kugelflächen gewölbt gegen den einfallenden Lichtstrahl.

1) $r_2 > r_1$, also $r_1 - r_2$ negativ; d. h. die zweite (ausgehöhlte) Fläche sei schwächer gekrümmt als die erste (gewölbte) Fläche.

$r_1 - r_2$ ist negativ; $\left(\frac{n}{n-1}\right)(r_1 - r_2)$ auch negativ. $\left(\frac{n}{n-1} = 3,\right.$ wenn $\left. n = \frac{3}{2}\right)$.

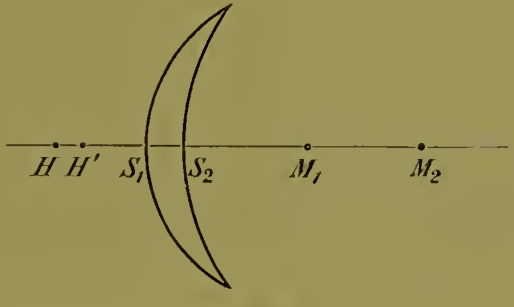

Fig. 108.

Da D seiner Natur nach immer positiv ist, so wird die Bedingung 2 des § 59 erfüllt. $\varrho = (r_2 - r_1) + \left(\frac{n-1}{n}\right) D$ ist positiv, also ist $\mathfrak{F}$ positiv.

$\mathfrak{h}$ ist positiv, da ϱ positiv und r_1 positiv.

Der erste Hauptpunkt liegt vor der ersten Kugelfläche. (§ 39, II.)

$\mathfrak{h}'$ ist negativ, da ϱ positiv und $-r_2$ negativ.

Der zweite Hauptpunkt liegt vor der zweiten Kugelfläche. Derselbe liegt aber auch i. A. vor der ersten Kugelfläche, da $r_2 > n\varrho$, d. h. $\frac{r_2}{n\varrho}$ ein unechter Bruch,[1]) also $\mathfrak{h}'$ in absolutem Werthe grösser als D.

$\mathfrak{N}$ ist positiv, da $(D + r_2 - r_1)$ positiv. (§ 39, IV.)

1) Aus 1, § 59 folgt

$$r_2 = \frac{n\varrho - (n-1) D - n r_1}{n}.$$ Aber $(n-1) D$ wie $n r_1$ ist positiv, $n > 1$; also $r_2 > n\varrho$.

Der erste Hauptpunkt liegt vor dem zweiten. Die Linse wird nach dem Rand zu dünner.

Fig. 108 giebt diese Form des Sammel-Meniscus.

§ 61. 2) $r_2 = r_1$. Die beiden Krümmungsmittelpunkte folgen einander auf der Hauptachse mit dem Abstand $M_1 M_2 = S_1 S_2 = D$.

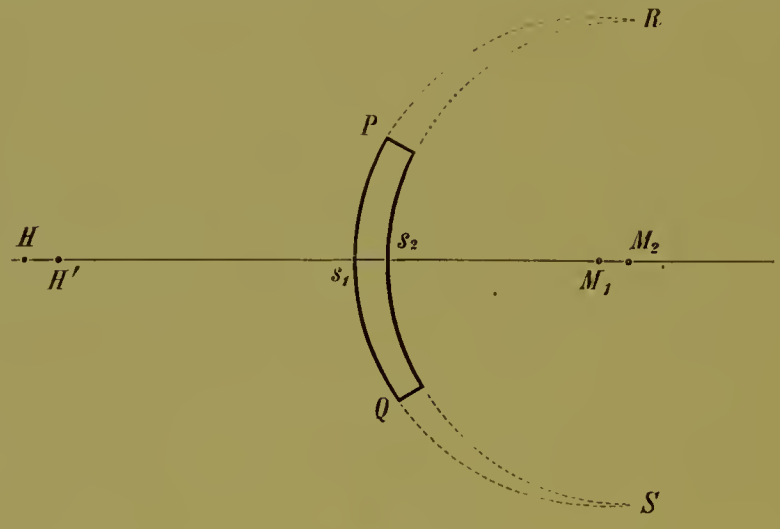

Fig. 109.

Ist D klein und die Oeffnung des Linsenglases ($\angle M_1 P Q$) nur klein, so scheinen die beiden krummen Flächen gleichlaufend zu sein. In Wirklichkeit laufen sie aber nach den Punkten R und S zusammen. Die Linse hat auf dem Durchschnitt Halbmondform (Fig. 109) und wird nach dem Rande zu dünner, ebenso wie die in Fig. 108 dargestellte, nur mehr allmählich.

$r_1 - r_2 = 0$, $D > 0$ (§ 59, Gl. 2), also $\mathfrak{F}$ positiv.

Aber die Brennweite ist lang, die Brechkraft gering, besonders wenn D klein ist.

$$\varrho = \left(\frac{n-1}{n}\right) D.$$

$$\mathfrak{F} = \frac{n}{(n-1)^2} \cdot \frac{r^2}{D}.$$

$$\mathfrak{h} = \frac{r}{n-1}.$$

$$\mathfrak{h}' = \frac{-r}{(n-1)}.$$

$$\mathfrak{K} = D.$$

Nehmen wir an, ein dickeres, sogenanntes Crystall-Schutzglas wäre derart geschliffen: $r = 52$ Mm., $D = 3$ Mm.[1])

1) Ich mass an einer durchschnittenen Linse dieser Art $D = 2{,}5$ Mm. Ihre Wirkung war nahezu gleich $= -0{,}5$ Dioptr.

$$\mathfrak{F} = 5408 \text{ Mm.} \quad \left(\frac{1}{\mathfrak{F}} \leqq 0{,}2 \text{ Dioptr.}\right)$$

$$\mathfrak{h} = +104 .$$
$$\mathfrak{h}' = -104 .$$
$$\mathfrak{K} = D = 3 .$$

In Wirklichkeit haben diese Schutzgläser aber eine leicht zerstreuende Wirkung. Sie sind also nicht durch Schleifen beider Kugelflächen auf derselben Schale hergestellt.

§ 62. 3) $r_2 < r_1$, also $r_1 - r_2$ positiv.

Diese Linse ist zerstreuend, wenn $D < \left(\frac{n}{n-1}\right)(r_1 - r_2)$;

„ „ „ teleskopisch, „ $D = \left(\frac{n}{n-1}\right)(r_1 - r_2)$;

„ „ „ sammelnd, „ $D > \left(\frac{n}{n-1}\right)(r_1 - r_2)$.

Also wenn $n = \frac{3}{2}$, so wird die Linse

a) zerstreuend, wenn $D < 3\ (r_1 - r_2)$,
b) teleskopisch, wenn $D = 3\ (r_1 - r_2)$,
c) sammelnd, wenn $D > 3\ (r_1 - r_2)$.

In unseren üblichen Glaslinsen ist die Bedingung a) erfüllt. Diejenigen Glasmenisken, welche nach dem Rande zu dicker werden, zerstreuen das Licht.

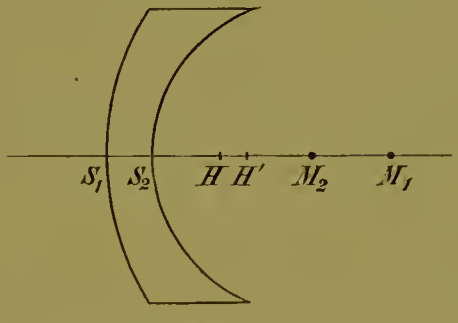

Fig. 109a.

Fig. 109a stellt den üblichen Zerstreuungs-Meniscus dar.

$\mathfrak{F}$ ist negativ, da in Gl. I, § 39 der Zähler positiv, der Nenner aber negativ; denn $r_2 - r_1$ ist negativ (ϱ negativ). $\mathfrak{h}$ wird negativ, da ϱ negativ. Der erste Hauptpunkt liegt hinter der ersten Kugelfläche. $\mathfrak{h}'$ wird positiv, da der Zähler $- r_2$ negativ, der Nenner ϱ negativ. Der zweite Hauptpunkt liegt hinter der zweiten Kugelfläche. $\mathfrak{K}$ ist positiv, wenn $D + r_2 > r_1$. Für die gewöhnlichen Menisken liegen

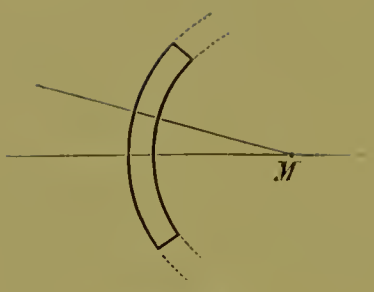

Fig. 109b.

die beiden Hauptpunkte auf der concaven Seite der Linse, wenn dieselbe das Licht zerstreut; auf der convexen [1]), wenn sie das Licht sammelt. (Vgl. Fig. 108.)

Erwähnung verdient noch die Linse mit concentrischen Kugelflächen, das gebogene Schutzglas. (Fig. 109b.)

$$r_1 = D + r_2 \text{ oder } r_1 - r_2 = D .$$

$$\varrho = - D + \left(\frac{n-1}{n}\right) D = - \frac{D}{n} .$$

$$\mathfrak{F} = - \left(\frac{n}{n-1}\right) \frac{r\,r}{D} \text{ oder nahezu } = - \frac{3\,r^2}{D}, \text{ wenn das Glas sehr dünn ist.}$$

$$\mathfrak{h} = - r_1 .$$

$$\mathfrak{h}' = + r_2 .$$

$$\mathfrak{K} = 0.$$

Die beiden Haupt- oder Knotenpunkte fallen in den gemeinschaftlichen Krümmungsmittelpunkt zusammen, wie man auch ohne Rechnung sieht. Die Brechkraft nähert sich dem Werthe Null, wenn D sehr klein gegen r. Für $r_1 = 52$, $D = 1$ Mm. wird $\mathfrak{F} = - 7500$; und für $D = 2$ Mm. wird $\mathfrak{F} = - 4000$ Mm. (nahezu). In der That findet man bei den gebogenen Schutzgläsern gelegentlich eine zerstreuende Wirkung von 0,25 Dioptr. Gemacht werden sie aus einer in der Hitze gebogenen Planglasplatte und auch nachträglich durch Schleifen verbessert.

Bedingung b giebt den Steinheil'schen Kegel, ein schwach vergrösserndes Galilei'sches Fernrohr aus einem Glasstück. ($PQRT$, Fig. 110).

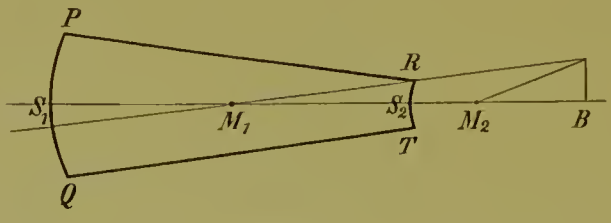

Fig. 110.

Es sei S_1 der Scheitel der ersten (erhabenen) Kugelfläche, M_1 der Krümmungsmittelpunkt derselben; S_2 der Scheitel der zweiten

1) Ausnahmen, bezw. Uebergänge zu dem Verhalten der planconvexen Linsen sollen gleich erwähnt werden.

(ausgehöhlten) Kugelfläche, M_2 der Krümmungsmittelpunkt derselben.

Bedingung ist, dass in denselben Punkt B der zweite Brennpunkt der ersten Kugelfläche und der erste Brennpunkt der zweiten Kugelfläche zusammenfallen. Dann wird das parallel der Hauptachse einfallende Strahlenbündel durch die Brechung an der ersten Kugelfläche nach B convergent gemacht, und das nach B convergirende Bündel durch die Brechung an der zweiten Kugelfläche wieder parallel gemacht.

$$S_1 B = \frac{n r_1}{n - 1} = 3 r_1 .$$

$$S_2 B = \frac{- n r_2}{1 - n} = \frac{n r_2}{n - 1} = 3 r_2 .$$

$$S_2 B = S_1 B - D.$$

$$3 r_2 - 3 r_1 + D = o$$

$$r_2 = r_1 - \frac{D}{3} .$$

$$\text{Vergrösserung } V = \frac{r_1}{r_2} = \frac{r_1}{r_1 - \frac{D}{3}} .$$

Die Vergrösserung ist gering.

Gebraucht werden hauptsächlich Kegel für Kurzsichtige, mit entsprechender Verkürzung von D.

Fall c) ist unpraktisch und braucht hier nicht weiter verfolgt zu werden.

§ 64. B) Beide Kümmungsradien sind negativ.

Wir erhalten dieselben Linsen wie in A) (§ 60 fgd.), — nur von der andern Seite her betrachtet. Die erste Fläche wird zur zweiten und umgekehrt.

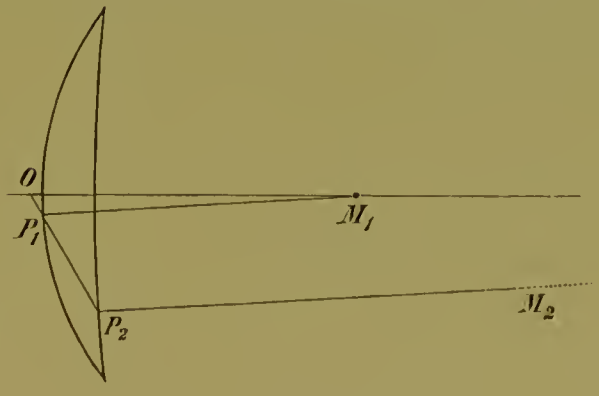

Fig. 111.

§ 65. Verordnet der Arzt + 3 Zoll periskopisch, so wird dasjenige Glas gegeben, dessen Durchschnitt auf Fig. 111 in natürlicher Grösse dargestellt ist:

$r_1 = 1^1/_4'' = 33{,}75$ Mm. $(1'' = 27$ Mm.).
$r_2 = 7^1/_2'' = 202{,}5$ Mm.[1])
$D = 6^1/_2$ Mm.

Für $n = \frac{3}{2}$ wird (in runden Zahlen)

$\varrho = 169.$
$\mathfrak{F} = 80.$ $(3'' = 81$ Mm.).
$\mathfrak{h} = 0{,}8$ Mm.
$\mathfrak{h}' = -5{,}1$ Mm.
$\mathfrak{K} = 2$ Mm.[2])

§ 66. Verordnet man ein muschelförmiges periskopisches Glas von 3 Zoll, so wird dasjenige gegeben, dessen Durchschnitt auf Fig. 112 in natürlicher Grösse dargestellt ist:

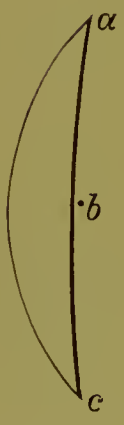

Fig. 112.

$r_1 = 1^1/_8'' = 30{,}4$ Mm.
$r_2 = 5^3/_4'' = 155$ Mm.
$D = 6^1/_2$ Mm.
$\varrho = 126{,}5.$
$\mathfrak{F} = 75.$
$\mathfrak{h} = 1.$
$\mathfrak{h}' = -5{,}3.$
$\mathfrak{K} = 2{,}2.$

$D + \mathfrak{h} - \mathfrak{h}' = \mathfrak{K}$ oder $1 + 6{,}5 - 5{,}3 = 2{,}2.$

1) Crossed lens heisst in englischen Büchern eine solche Linse, für welche $r_2 = 6\, r_1$; sie giebt die die geringste Abweichung für ein parallel einfallendes Strahlenbündel.

2) Wer diese Lage der Hauptpunkte, von der in den Büchern nicht die Rede ist, verstehen will, berücksichtige, dass sie den Uebergang darstellt von Fig. 108 zu Fig. 102, d. h. vom stark gekrümmten Sammel-Meniscus zur convexplanen Linse.

Ausserdem ist in unserer Fig. 111 der optische Mittelpunkt O durch Construction dargestellt; $M_1 P_1 \neq M_2 P_2$.